

VTT Technical Research Centre of Finland

Biopolttoaineiden demonstraatiohanke BioSata

Nylund, Nils-Olof; Söderena, Petri; Pettinen, Rasmus

Published: 14/05/2020

Document Version
Publisher's final version

[Link to publication](#)

Please cite the original version:

Nylund, N.-O., Söderena, P., & Pettinen, R. (2020). *Biopolttoaineiden demonstraatiohanke BioSata: Korkeaseosteisilla biopolttoaineilla hiilettömään kaupunkiliikenteeseen*. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Tutkimusraportti No. VTT-R-00585-20



VTT
<http://www.vtt.fi>
P.O. box 1000FI-02044 VTT
Finland

By using VTT's Research Information Portal you are bound by the following Terms & Conditions.

I have read and I understand the following statement:

This document is protected by copyright and other intellectual property rights, and duplication or sale of all or part of any of this document is not permitted, except duplication for research use or educational purposes in electronic or print form. You must obtain permission for any other use. Electronic or print copies may not be offered for sale.












Biopolttoaineiden demonstraatiohanke BioSata: Korkeaseosteisilla biopolttoaineilla hiilettömään kaupunkiliikenteeseen

Loppuraportti

Kirjoittajat: Nils-Olof Nylund, Petri Söderena & Rasmus Pettinen

Luottamuksellisuus: Julkinen

Raportin nimi Biopolttoaineiden demonstraatiohanke BioSata: Korkeaseosteisilla biopolttoaineilla hiilettömään kaupunkiliikenteeseen. Loppuraportti.				
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot HSL Hankejohtaja Reijo Mäkinen PL 100, 00077 HSL	Asiakkaan viite			
Projektin nimi BioSata	Projektin numero/lyhytnimi 116538			
Raportin laatija(t) Nils-Olof Nylund, Petri Söderena & Rasmus Pettinen	Sivujen/liitesivujen lukumäärä 102			
Avainsanat Biopolttoaineet, kaupunkiliikenne, päästöjen vähentäminen	Raportin numero VTT-R-00585-20			
Tiivistelmä <p>Vuosien 2016 - 2019 "BioSata"-hankkeen tavoitteena oli nopeuttaa siirtymistä kestävästi tuotettuihin biopolttoaineisiin HSL:n tilaamassa bussiliikenteessä ja Helsingin kaupungin omassa auto- ja työkalustossa. BioSata-hankkeen alkuperäisiä osapuolia olivat HSL, Stara, Neste, St1, UPM ja tutkimusosapuolena VTT. Alkuisysäys hankkeelle syntyi Pääkaupunkiseudun Smart & Clean -säätöön puitteissa käydyissä keskusteluissa. Säätö myös ohjasi hankkeen viestintää. Vuonna 2018 hankkeeseen liittyivät myös Espoon ja Vantaan kaupungit sekä Posti. Hanketta rahoitti Työ- ja elinkeinoministeriö.</p> <p>Käytännön demonstrointiin painottuneessa BioSata-hankkeessa selvitettiin teknisten kysymysten lisäksi mm. polttoaineiden hinnoittelua ja verotuskohtelua, hankintamenettelyjä ja mahdollisia kilpailusteitä. Mittauksia ja kenttäkokeita tehtiin busseilla, kuorma-autoilla ja työkaluilla, niin laboratorio- kuin kenttämittauksina. Painopiste oli 100 %:ssa uusiutuvassa dieselpolttoaineessa. Hankkeessa tutkittiin mm. polttoaineen kulutusta, haitallisia lähipäästöjä (NO_x ja PM), polttoaineen vaikutusta huollon tarpeeseen ja yleisesti uusiutuvien polttoaineiden toimivuutta.</p> <p>Projekti ei tuonut esiin mitään varsinaisia teknisiä ongelmia korkeaseosteisten biopolttoaineiden käytössä, ja omalta osaltaan projekti on lisännyt eri toimijoiden valmiuksia ottaa käyttöön biopolttoaineita. Useimmat toimijat hankkivat biopolttoaineita siten, että vuonna 2019 todelliset biopolttoaineosuudet asettuivat haarukkaan 45 - 55 %. Toimijoiden laskennalliset CO₂-päästöt laskivat samassa määrin. Omalta osaltaan hanke valmisti toimijoita uudistettuun puhtaiden ja energiatehokkaiden edistämistä koskevaan direktiiviin ja Suomen uuden biopolttoainevelvoitteen nouseviin bio-osuuksiin.</p>				
Luottamuksellisuus	Julkinen			
<p>Espoo 14.5.2020</p> <table border="0"> <tr> <td>Laatija  Nils-Olof Nylund Senior Advisor</td> <td>Tarkastaja  Juhani Laurikko Principal Scientist</td> <td>Hyväksyjä  Jukka Lehtomäki Manager, Operations Support</td> </tr> </table>		Laatija  Nils-Olof Nylund Senior Advisor	Tarkastaja  Juhani Laurikko Principal Scientist	Hyväksyjä  Jukka Lehtomäki Manager, Operations Support
Laatija  Nils-Olof Nylund Senior Advisor	Tarkastaja  Juhani Laurikko Principal Scientist	Hyväksyjä  Jukka Lehtomäki Manager, Operations Support		
VTT:n yhteystiedot				
Jakelu (asiakkaat ja VTT) Reijo Mäkinen/HSL, BioSata ohjausryhmä, TransDigi-yhteistyöalusta				
<p><i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i></p>				

Alkusanat

Helsingin seudun liikenne (HSL), Helsingin kaupunki (Stara) ja energiayhtiöt toteuttivat vuosina 2016 - 2019 Työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) tuella "BioSata"-hankkeen, jonka tavoitteena oli nopeuttaa siirtymistä kestävästi tuotettuihin biopolttoaineisiin HSL:n tilaamassa bus-siliikenteessä ja Helsingin kaupungin omassa auto- ja työkonekalustossa. Alkuisysäys hankkeelle syntyi Pääkaupunkiseudun Smart & Clean -säätöön puitteissa käydyissä keskusteluissa. Säätö myös ohjasi hankkeen viestintää. Vuonna 2018 hankkeeseen liittyivät myös Espoon ja Vantaan kaupungit sekä Posti.

Käsillä oleva raportti on hankkeen loppuraportti

Espoo 14.5.2020

Tekijät

Lyhenteet

A, B, C, D, F		Eri autotyypppejä
AMF	Advanced Motor Fuels	IEA tutkimussopimus
ASC	Ammonia Slip Catalyst	Ammoniakkikatalysaattori
avg	Average	Keskimääräinen
BR	Braunschweig	Bussien testisykli
B100		100 %:nen perinteinen biodiesel
CBG	Compressed biogas	Paineistettu biometaani (biokaasu)
CF	Conformity Factor	Säännönmukaisuuskerroin (pakokaasut)
CFPP	Cold Filter Plugging Point	Polttoaineen suodatettavuuslämpötila
CNG	Compressed Natural Gas	Paineistettu maakaasu
CO	Carbon Oxide	Hiilimonoksidi (häkä)
CO ₂	Carbon Dioxide	Hiilidioksidi
CVS	Constant Volume Sampler	Pakokaasun näytteenottolaitteisto
DIKC		Kesälaatuinen dieselpolttoaine
DOC	Diesel Oxidation Catalyst	Dieselmoottorin hapetuskatalysaattori
DPF	Diesel Particulate Filter	Dieselmoottorin hiukkassuodatin
EDS	Energy Dispersive Spectroscopy	Energiadisersiivinen spektroskopia
E85		Ottomoottoreiden korkeaseosetanoli
ED95/RED95		Dieseletanoli
EGR	Exhaust Gas Recirculation	Pakokaasujen takaisinkieritys
ENxxx	European Standard (Norm)	Eurooppalainen standardi
EN590		Tavanomainen dieselpolttoaine
EN15940		Parafiininen dieselpolttoaine
Euro xx, EEV		Raskaiden ajoneuvojen päästöluokka
F	Fossil	Fossiilinen
FAME	Fatty Acid Methyl Ester	Perinteinen esteröity biodiesel
GTL	Gas-to-Liquids	Maakaasupohjainen synteettinen polttoaine
HC, THC	Hydrocarbons, Total Hydrocarbons	Hiilivedyt
HD	Heavy-Duty	Raskas ajoneuvo
HSL		Helsingin seudun liikenne
HVO	Hydrotreated Vegetable Oil	Vetykäsitelty kasviöljy/uusiutuva diesel
IEA	International Energy Agency	Kansainvälinen energiajärjestö
IK		Itäkeskus
ISC	In Service Conformity	Käytön aikainen päästöjen raja-arvo
LPG	Liquefied Petroleum Gas	Nestekaasu
NECP	National Energy and Climate Plan	Kansallinen energia- ja ilmastosuunnitelma
NO	Nitrogen Oxide	Typpioksidit
NO ₂	Nitrogen Dioxide	Typpidioksidi
NO _x	Nitrogen Oxides	Typpioksidit (NO + NO ₂)
P	Power	Teho
PEMS	Portable Emission Measurement System	Mobiili päästömittauslaitteisto
PM	Particulate Mass	Hiukkasmassa
PN	Particulate Number	Hiukkaslukumäärä
POC	Particle Oxidation Catalyst	Hiukkasten hapetuskatalysaattori
PtX	Power-to-X	Sähkölaitteet
R	Renewable	Uusiutuva
RDE	Real Driving Emissions	Todellista ajoa vastaavat päästöt
RED	Renewable Energy Directive	Uusiutuvan energian direktiivi
RPM	Revolutions per Minute	Moottorin käyntinopeus
SCR	Selective Catalyst Reduction	Selektiivinen katalyyttinen pelkistäminen
Stage xx		Työkonemoottoreiden päästöluokka
TCP	Technology Collaboration Programme	IEA teknologiayhteistyöalusta
TEM		Työ- ja elinkeinoministeriö
TTW	Tank-to-Wheel	Polttoaineen loppukäyttö
VM		Valtiovarainministeriö
VTT		Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
WE		Westend
WHTC	World harmonized transient cycle	Moottorien sertifiointisykli
WHVC	World harmonized vehicle cycle	WHTC:aa vastaava ajoneuvosykli

WTT
WTW

Well-to-Tank
Well-to-Wheel

Polttoaineketjun alkupää
Koko polttoaineketju

Sisällysluettelo

Alkusanat	2
Lyhenteet	3
Sisällysluettelo	5
Kommentti mittauksissa käytetyistä polttoaineista	7
1. Johdanto.....	8
2. Hankkeen hallinto	9
3. Hankkeen sisältö	10
4. Valmisteluvaihe.....	11
4.1 Yleistä.....	11
4.2 Valmisteluhankkeelle tehty ajoneuvomittaukset	13
5. Autokokeet (toteutusvaihe)	15
5.1 Yleistä.....	15
5.2 Täydentävät polttoaineen kulutusmittaukset	18
5.3 Kenttäseuranta Pohjolan Kaupunkiliikenteen kalustolla	24
5.3.1 Yleistä.....	24
5.3.2 Alustadynamometrissa toteutetut seurantamittaukset	26
5.3.3 Tien päällä tehty PEMS-mittaukset	31
5.3.4 Jatkuva toiminen NO _x -seuranta.....	34
5.3.5 Polttoaineen kulutuksen seuranta	35
5.3.6 Vika- ja huoltodata	36
5.3.7 Hiukkassuodattimien tutkimus.....	37
5.3.8 Yhteenveto.....	38
5.4 Kokeet Vantaan kaupungin kadunlakaisuautolla	39
5.5 Euro VI etanolikuorma-auton mittaus	41
6. Kokeet työkoneilla (toteutusvaihe)	44
6.1 Yleistä.....	44
6.2 Staran Wille työkoneet	45
6.2.1 Yleistä	45
6.2.2 Staran työkoneiden instrumentointi ja mittausohjelma.....	45
6.2.3 Staran teettämä materiaalitekniikan diplomityö	45
6.2.4 PEMS-mittaukset	47
6.2.5 Koneiden kenttäseuranta	51
6.3 UPM:n palveluksessa olevat työkoneet.....	52
6.3.1 Yleistä.....	52
6.3.2 PEMS-mittaukset	52
6.3.3 Koneiden kenttäseuranta	54
6.4 Yhteenveto työkoneiden päästömittauksista	55
7. BioSata-selvityksen tuloksia.....	58
7.1 Yleistä.....	58
7.2 Biopolttoaineiden kohdennetulla käytöllä saavutettavissa olevat ympäristöhyödyt ..	59

7.2.1 Bussikalusto.....	59
Bussikaluston osalta tarkasteltiin seuraavat polttoainevaihtoehdot:	59
7.2.2 Staran kalusto	65
7.3 Kustannustarkastelut (bussikalusto).....	69
7.3.1 Yleistä	69
7.3.2 Bussikaluston TCO	70
7.4 Kustannus/hyötytarkastelu	75
8. Viitekehys	78
8.1 Yleistä.....	78
8.2 EU-taso	78
8.3 Suomi	81
8.4 Ruotsi	89
9. Eri toimijoiden strategiat, tilanne uusiutuvien polttoaineiden osalta sekä jatkotoimenpiteet.....	90
9.1 Yleistä.....	90
9.2 HSL	90
9.3 Helsinki/Stara	94
9.4 Espoo	96
9.5 Vantaa	96
9.6 Posti	97
9.7 Haasteet biopolttoaineiden käyttöönnotossa.....	99
10. Viestintä.....	99
11. Yhteenveto ja johtopäätökset.....	100

Kommentti mittauksissa käytetyistä polttoaineista

Vuonna 2007 - 2010 toteutettiin laaja parafiinisen uusiutuvan dieselpolttoaineen tutkimus- ja demonstraatiohanke "Optibio"¹. Tuolloin mitattiin yhteensä 17 Euro II - EEV -tasoista bussia VTT:n alustadynamometrissa uusiutuvan dieselpolttoaineen päästövaikutusten selvittämiseksi. Tulokset tavanomaiseen EN590-dieselpolttoaineeseen verrattuna olivat:

- hiilimonoksidi CO: -30 %
- hiilivedyt THC: -40 %
- hiukkasmassa PM: -30 %
- typen oksidit NO_x: -10 %
- hiilidioksidi CO₂: -5 % (pakoputkesta mitattuna)
- energian kulutus: -0.5 %
- volumetrinen polttoaineen kulutus: +4.5 %

Vuonna 2009 julkaistussa tutkimuksessa "Emissions with Heavy-Duty Diesel Engines and Vehicles using FAME, HVO and GTL Fuels with and without DOC+POC Aftertreatment" Murtonen et al. toteavat lisäksi, että parafiininen dieselpolttoaine (vetykäsittelty kasviöljy HVO ja maakaasupohjainen synteettinen dieselpolttoaine GTL) vähentää hiukkasten mutageenisuutta luokkaa 65 % EN590-polttoaineeseen verrattuna².

Vuonna 2011 Suomessa tuli käyttöön uusi nestemäisten polttoaineiden verojärjestelmä, johon sisältyy laatuporrastus parafiiniselle dieselpolttoaineelle (kts. 8.3). Laatuporrastus tehdään alennuksena energiaverokomponenttiin, ja sen suuruus on 0,05 €/l. Alussa parafiinisen polttoaineen osuus oli pieni, mutta nousi vuosikymmenen lopulla tasolle 75 %, josta uusiutuvan dieselpolttoaineen osuus on ollut tasolla 10 - 15 %. Selitys tälle on se, että toimijat ovat säätäneet tavanomaisen EN590-dieselpolttoaineen laatua siten, että merkittävä osa polttoaineesta on täyttänyt verojärjestelmän määrittelyn parafiinisesta polttoaineesta. Tämä siis tarkoittaa sitä, että Suomessa myyty EN590-dieselpolttoaine on ollut parempilaatuista kuin mitä standardi edellyttää.

Tällä on ollut heijastumia myös BioSata-hankkeen päästömittauksiin, sillä osassa päästömittauksista vertailupolttoaineena on ollut kauppalaatuinen EN590-polttoaine. Näin ollen osassa päästövertailuista uusiutuvan dieselpolttoaineen ja normipolttoaineen välillä erot ovat olleet pienempiä kuin mitä aikanaan ym. Optibio-hankkeessa havaittiin. Sama pätee myös esim. Pohjolan Kaupunkiliikenteen autoilla toteutettuun kenttäkokeeseen, referenssi on todennäköisesti ollut peruslaatuista EN590-polttoainetta parempaa.

Kohdan 5.2 täydentävissä polttoaineenkulutus- ja päästömittauksissa ja kohdan 5.5 kuorma-autovertailuissa on kuitenkin referenssinä käytetty VTT:n referenssipolttoainetta, joka laadultaan vastaa peruslaatuista EN590-polttoainetta, ja josta on olemassa kattavat analyysitiedot.

¹ <https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2011/T2604.pdf>

² <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2009-01-2693/>

1. Johdanto

Korkealaatuisten biopolttoaineiden avulla voidaan vähentää niin kasvihuonekaasupäästöjä kuin terveydelle haitallisia lähipäästöjä. Perustellusti voidaan sanoa, että korkeaseosteiset biopolttoaineet ovat eräänlainen ohituskaista vähähiilisyteen. Nämä yhteensopivat, ns. "drop-in" polttoaineet eivät edellytä muutoksia jakeluinfrastruktuuriin tai ajoneuvoihin.

Se, missä määrin esimerkiksi uusiutuva parafiininen dieselpolttoaine vähentää lähipäästöjä, lähinnä hiukkasia ja typen oksideja, riippuu moottorin päästöluokasta ja kehittyneisyydestä. Mitä vanhemmasta moottorista on kyse, sitä suuremmat ovat sekä suhteelliset että absoluutiset päästövähennykset. Vaikka merkittävä osa pääkaupunkiseudun bussiliikenteestä ajetaan jo erittäin vähäpäästöisillä Euro VI -tasoisilla busseilla, kaupunkien käytössä on vielä paljon vanhempaa kuorma-auto- ja työkonelastusta, jossa puhtaammilla polttoaineilla voidaan saavuttaa merkittäviä lähipäästöhyötyjä. Sama pätee myös esim. ruuhkaheippujen bussikalustoon. Niinpä on perusteltua kohdistaa hyvälaatuisten uusiutuvien käyttö nimenomaan kaupunkiliikenteeseen.

HSL haki ja sai joulukuussa 2015 Työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) rahoitusta hankkeeseen "Biopolttoaineiden demonstraatiohanke BioSata: Korkeaseosteisilla biopolttoaineilla hiilettömään kaupunkiliikenteeseen". Hankkeen tavoitteeksi kirjattiin:

"Biopolttoaineiden osuus (todellinen energiaosuus) polttomoottorilla varustetussa kalustossa on vähintään 50 % vuonna 2017 ja 70 - 90 % vuonna 2019. HSL ja Stara toimivat tiennäyttäjinä niin pääkaupunkiseudun muiden toimijoiden kuin muidenkin kaupunkiseutujen osalta siirtymisessä hiilineutraaliin liikenteeseen."

Käytännön demonstrointiin painottuneessa BioSata-hankkeessa selvitettiin teknisten kysymysten lisäksi mm. polttoaineiden hinnoittelua ja verotuskohtelua, hankintamenettelyjä ja mahdollisia kilpailuesteitä. BioSata-hankkeen osapuolia olivat HSL, Stara, Neste, St1, UPM ja tutkimusosapuolena VTT. Hanke ideoitiin alun perin Pääkaupunkiseudun Smart & Clean -säätöön puitteissa käydyissä keskusteluissa, ja se linkitettiin säätöön projektisalkkuun. Lisäksi Smart & Clean -säätö ohjasi ja tuki hankkeen viestintää.

Tiennäyttäjäyys toteutui vuonna 2018, sillä Espoon ja Vantaan kaupungit sekä Posti liittyivät mukaan hankkeeseen.

BioSata-demonstraatiohanke jaettiin kolmeen vaiheeseen:

- Yksityiskohtainen toteutussuunnittelu (valmisteluvaihe)
 - Tarkentaa varsinaista toteutusvaihetta
- Toteutuksen 1. vaihe (50 %:n taso)
- Toteutuksen 2. vaihe (70 – 90 %:n taso)

Hankkeen kestoksi oli alun perin suunniteltu 2016 - 2018. Koska hankkeen toteutusvaiheen käynnistyminen viivästyi ja varsinainen käynnistyminen tapahtui 2018, hanke haki ja sai jatkoaikaa vuoden 2019 loppuun saakka.

Projekti ei tuonut esiin mitään varsinaisia teknisiä ongelmia korkeaseosteisten biopolttoaineiden käytössä, ja omalta osaltaan projekti on lisännyt eri toimijoiden valmiuksia ottaa käyttöön biopolttoaineita.

Yksi hankkeen alkuperäisistä ideoista oli, että polttoaineiden toimittajat, voimassa olevan jakeluvelvoitteen puitteissa, ohjaisivat biopolttoaineita keskitetysti bussiliikenteeseen ja kaupunkien ajoneuvoihin ja työkoneisiin, ilman lisäkustannuksia. Tämä ei kuitenkaan toteutunut käytännössä, koska järjestely olisi voinut johtaa mm. kilpailun vääristymiseen. HSL:n tilaaman bussiliikenteen osalta polttoaineiden toimitussopimukset tehdään polttoaineiden jakeli-

joiden ja liikennöitsijöiden kesken, eikä HSL:llä ole sanavaltaa näihin neuvotteluihin. Toisaalta HSL on nopeuttanut biopolttoaineiden käyttöä ns. ympäristöbonuksen avulla, ts. HSL on maksanut ylimääräistä korvausta biopolttoaineiden käytöstä. Ympäristöbonukseen liittyy kilpailutusmenettely, jolla on taattu se, että toiminta on kustannustehokasta.

Muut toimijat (Stara, Espoo, Vantaa) ovat omilla päätöksillään voineet lisätä biopolttoaineiden käyttöä. Biopolttoaineet on kuitenkin jouduttu hankkimaan käytännössä normaaliin markkinahintaan, eli suuruusluokkaisesti 15 snt/l lisähintaan tavanomaiseen dieselpolttoaineeseen verrattuna.

Biopolttoaineosuuksien osalta tilaaja- ja käyttäjätahot eivät yltäneet 2. vaiheelle asetettuun 70 - 90 %:n tasoon, mutta parhaimmillaan päästiin noin 50 %:n tasoon. Toimijoiden laskennalliset CO₂-päästöt pienentyvät samassa suhteessa. Lisäksi osoitettiin, että vanhemmassa auto- ja työkalustossa korkealaatuisten biopolttoaineiden kohdennetulla käytössä voidaan myös vähentää haitallisia lähipäästöjä.

Rinnan varsinaisen BioSata-tutkimushankkeen kanssa vuosina 2016 - 2017 toteutettiin "BioSata selvitys" -hanke. "BioSata selvitys" -hankkeen rahoittivat TEM ja VTT. Hanke teki varsinaiseen BioSata-hankkeeseen liittyen laskentoja päästömääristä sekä päästö- ja ajoneuvokustannuksista eri tekniikkavaihtoehtoilla. Tarkastelut tehtiin HSL:n tilaamalle bussiliikenteelle ja Staran omalle dieselkäyttöiselle kalustolle.

Lisäksi selvityshankkeen puitteissa osallistuttiin Komission biopolttoaineisiin liittyviin työryhmiin ja avustettiin TEM:iä Suomen biopolttoaineita koskevien teknologiapolkujen määrittelemisessä.

Tässä varsinaisen BioSata-hankkeen loppuraportissa esitetään myös lyhyt yhteenveto BioSata selvitys -hankkeen keskeisistä tuloksista.

2. Hankkeen hallinto

Hankkeelle muodostettiin ohjausryhmä, johon kutsuttiin seuraavat henkilöt/tahot (varsinaiset jäsenet):

- Reijo Mäkinen/HSL (puheenjohtaja)
- Jukka Saarinen/TEM
- Leo Parkkonen/VM
- Sami Aherva/Stara
- Simo Honkanen/Neste
- Mika P.A. Anttonen/St1
- Marko Snellman/UPM
- Helena Vänskä/Öljy- ja biopolttoaineala ry
 - varamiehenä Jussi Ruikka/Juha Rainio/Teboil
- Tiina Kähö/Smart & Clean -säätio
- Nils-Olof Nylund/VTT

Kolme uutta osapuolta liittyi hankkeeseen 2018 (suluissa ohjausryhmään kutsuttu henkilö):

- Espoon kaupunki (Kari Sirviö)
- Vantaan kaupunki (Kaj Weckström)
- Posti (Pekka Koskinen, vuosi 2018, Vesa Tavi vuosi 2019)

Ohjausryhmässä sovittiin, ettei Teboililla eikä vuonna 2018 mukaan liittyneillä tahoilla ollut varsinaista äänivaltaa ohjausryhmässä. Hankkeessa syntyvä tieto päätettiin kuitenkin jakaa kaikille osapuolille. Öljy- ja biopolttoaineala ry lakkasi toimimasta vuoden 2018 lopulla, joten tämä taho jäi pois 2019, Teboilin jatkaessa ohjausryhmässä.

Valmisteluvaiheen aikana ohjausryhmä kokoontui yhteensä kuusi kertaa. Vuonna 2017 kokouksia oli niin ikään kuusi, vuonna 2018 neljä ja vuonna 2019 kolme. Hankkeen viimeinen kokous pidettiin maaliskuussa 2020.

”BioSata-selvitys”-hankkeella ei ollut omaa ohjausryhmää, vaan hanke raportoi varsinaiselle BioSata-ohjausryhmälle.

BioSata-hankkeen projektipäällikkönä VTT:llä toimi erikoistutkija Petri Söderena.

3. Hankkeen sisältö

Hankesuunnitelmassa hanke haettiin kahteen osaan, valmisteluvaiheeseen ja varsinaiseen toteutusvaiheeseen.

Valmisteluvaiheesta todettiin:

”Hankkeen yksityiskohtaisessa suunnittelussa määritellään käyttökohteittain mahdollisuudet korkeiden biopolttoainepitoisuuksien käyttöönotolle, tarvittavat jakeluinfraktuurin täydennykset sekä polttoainevaihtojen kasvattamiseksi tarvittavien kalustohankintojen aikataulu. Lisäksi selvitetään ja ratkaistaan mahdolliset hallinnolliset (esim. kilpailutus) ja tekniset haasteet (esim. ajoneuvovalmistajien hyväksynnit).”

Toteutusvaiheen tehtäviksi yleisellä tasolla kirjattiin mm.:

- Hankintamenettelyjen käytännön järjestäminen (liikenteen tilaaminen, polttoainehankinnat, mahdolliset ajoneuvohankinnat)
- Polttoainejakelun järjestäminen
- Biopolttoaineita käyttävien autojen seurannan järjestäminen
- Kustannusten jako eri toimijoiden välillä
- Hankkeen koordinointi ja viestintä

Mittauksissa selvitettäväksi asioiksi kirjattiin mm.:

- Käytännön suorituskyky ja toimivuus
- Vaikutukset lähipäästöihin
- Vaikutukset energiatehokkuuteen
- Vaikutukset moottorien ja pakokaasupuhdistusjärjestelmien toimintaan
- Vaikutukset huollon tarpeeseen

Tarkennettuun seurantaan sisältyi niin laboratoriossa kuin tien päällä tehtäviä mittauksia autoille ja työkoneille. Laboratoriomittauksissa hyödynnettiin VTT:n raskaan kaluston pakokaasulaboratoriota alustadynamometreineen. Kenttämittauksissa käytettiin myös säänneltyt päästöt mittaavaa PEMS-laitteistoa (Portable Emission Measurement System).

Kuten johdantokappaleessa todettiin, BioSata-hankkeen alkuperäinen tavoite siitä, että hankkeen avulla pystyttäisiin biopolttoaineiden jakelunelvoitteen puitteissa kohdistamaan biopoltto-

aineiden käyttöä julkisten toimijoiden operaatioihin, ei toteutunut ajatellusti. Näin ollen toteutusvaiheen ”Hankintamenettelyjen käytännön järjestäminen” jäi vähemmälle huomiolle, ja toiminta painottui erilaisiin demonstraatioihin ja mittauskampanjoihin.

Alun perin oli ajateltu, että toteutusvaiheessa olisi kaksi selvää porrasta. Ensimmäisessä portaassa tavoiteltaisiin 50 %:n ja toisessa portaassa 70 - 90 %:n biopolttoaineosuutta. Koska hanke ei onnistunut luomaan ajateltua lisäpotkua biopolttoaineiden käyttöön, biopolttoaineiden käytön toteutuma jäi parhaimmillaan 50 %:n tasolle.

Käytännössä BioSata-hanke rakentui seuraavista elementeistä:

- Valmisteluvaihe
 - Keskustelut polttoainetoimittajien, liikennöitsijöiden ja automaahantuojaan kanssa
 - Alustavat polttoaineen kulutusmittaukset
 - Toteutussuunnitelman tarkentaminen
- Varsinainen toteutusvaihe, autokokeet
 - Täydentävät polttoaineen kulutusmittaukset
 - Kenttäkoe Pohjolan Kaupunkiliikenteen Euro VI bussikalustolla päästömittaukseen
 - Kokeet Vantaan kaupungin kadunlakaisuautolla
 - Euro VI etanolikuorma-auton mittaus
- Varsinainen toteutusvaihe, kokeet työkoneilla
 - Staran Wille työkoneet
 - PEMS mittaukset
 - Koneiden kenttäseuranta
 - UPM:n satamatyökonekokeet
 - PEMS mittaukset
 - Koneiden seuranta (UPM toimittaa tekstiä)

Ym. tehtävien lisäksi tässä loppuraportissa esitellään yhteenveto ”BioSata-selvitys”-hankkeen tuloksista ja johtopäätöksistä.

4. Valmisteluvaihe

4.1 Yleistä

Valmistelu päätavoitteena oli selvittää, voiko ja millä edellytyksillä hanke voi siirtyä varsinaiseen toteutusvaiheeseen. Valmisteluvaiheen tulokset esiteltiin hankkeen ohjausryhmälle 16.1.2017 pidetyssä kokouksessa, jolloin ohjausryhmä päätti seuraavaa:

Päätettiin, että hankkeen valmisteluvaihe on päätöksessä ja sen osalta voidaan tehdä taloudellinen loppuselvitys. Samalla siirrytään toteutusvaiheeseen.

Suunnitteluvaiheesta toimitettiin myös tiivistetty raportti HSL:ään päiväyksellä 28.2.2017.

Raportissa käsiteltiin mm. seuraavia asioita:

- hankkeen hallintomalli
- Staran kanssa käydyt neuvottelut

- energiatoimijoiden kanssa käydyt neuvottelut
- automaahantuojiin kanssa käydyt keskustelut
- bussiliikennöitsijöiden kanssa käydyt keskustelut
- valmisteluhankkeelle tehdyt ajoneuvomittaukset

Energiayhtiöiden kanssa käytyjen neuvottelujen ja ohjausryhmässä käytyjen keskustelujen perusteella BioSata polttoaineille päätettiin seuraavat määrittelyt:

- Seos, joka täyttää EN590 vaatimuksen minimitiheyden ollessa talvilaadun 800 kg/m³, tavoitteellinen bio-osuus 50 % energiaa
 - lisävaatimuksena on, ettei polttoaine saa sisältää FAME-komponenttia (perinteinen esteröity biodiesel)
 - tämä ei ole kilpailullinen rajoite, vaan ”suorituskykyvaatimus”, joka mahdollistaa polttoaineen pitkän varastoinnin esim. Staran tapauksessa
- 100 %:n parafiininen dieselpolttoaine, EN15940, bio-osuus 50 - 100 %
 - toimittajan taattava toimivuus myös talviolosuhteissa
 - bio-osuustavoitetta lisätään alkaen 2018
- Kestävyys: BioSata-hankkeessa käytetään ainoastaan voimassa olevien kansallisten määräysten mukaisia kestävästi tuotettuja biokomponentteja (viittaus veroluokat ”T”)

Lisäksi hankkeeseen hyväksyttiin dieseletanoli (ED95/RED95) ja biokaasu. Tosin hankkeessa ei ollut mukana biokaasun käyttöä edistävää tahoa, koska Gasum Oy jättäytyi hankkeen ulkopuolelle.

Määrittelyt vastaavat käytännössä HSL:n ympäristöbonuskilpailuissa käyttämiä määritelmiä.

Biopolttoaineiden tuottajat vahvistivat valmisteluvaiheen aikana käydyissä keskusteluissa, että BioSata-hanke voidaan toteuttaa voimassa olevaan biopolttoainevelvoitteeseen tukeutuen ilman merkittäviä lisäkustannuksia. Neste ilmoitti lisäksi tarjoavansa tarvittaessa 100 % uusiutuvaa dieseliä käyttäville liikennöitsijöille back-up takuun, mikä siis tarkoittaa liikennöitsijöille sitä, ettei tuotteen käyttämisestä aiheudu ylimääräisiä riskejä.

Lopputulos oli kuitenkin se, että koska polttoaineiden toimitussopimukset tehdään markkinointiyhtiöiden ja loppukäyttäjien välillä, projektin avulla ei voitu vaikuttaa toimitusehtoihin. Lisäksi kävi ilmi, että mahdollinen toimitusehdoista sopiminen olisi voitu tulkita markkinatilanteen vääristämiseksi.

Polttoaineiden hinnanmuodostusta kommentoidaan luvussa 7, BioSata-selvityksen tuloksia

Automaahantuojiin kanssa käydyt keskustelut vahvistivat, että useimmat valmistajat hyväksyvät 100 %:sen parafiinisen dieselpolttoaineen käytön. Epäselvyyttä on lähinnä Euro V/EEV tasoisten Iveco-moottoreiden ja joidenkin Cummins-moottoreiden osalta. Toisaalta, Nesteen lupaama back-up takuu olisi ratkaissut tilanteen näiden moottoreiden osalta.

Liikennöitsijöiden kanssa käytiin kaksi neuvottelukierrosta, toinen keväällä ja toinen syksyllä 2016. Nämä käytiin yksi liikennöitsijä kerrallaan. Lisäksi HSL kokosi vuonna 2016 kaikki liikennöitsijät kaksi kertaa yhteistapaamiseen. Jälkimmäisessä kokouksessa liikennöitsijät peräänkuuluttivat dataa eri polttoainelaatujen vaikutuksista Euro VI-tasoisten bussien polttoaineen kulutukseen.

Loppuvuoden liikennöitsijätapaamisista kerättiin seuraavat yleiset kommentit:

- Voiko maakunnissa syntyä porua, kun pääkaupunkiseutu kuorii kerman pinnalta?
- Biopolttoainetoimituksiin toivotaan aitoa kilpailua
- Voiko biopolttoaineiden käyttö aiheuttaa vääristymiä kilpailutukseen?
- BioSata hanke on ok, jos polttoaineen toimittajat todella joustavat ja liikennöitsijöiden kustannukset eivät nouse
- Mikä tulee olemaan biokomponenttien hintakehitys?
- Oma hintaindeksi biopolttoaineille?
- Lisäkulutus 100 %:n biopolttoaineella, miten kompensoidaan liikennöitsijöille?
- Liikennöitsijät toimivat hyvin pienillä katteilla
- Kuljettajien palkitsemisjärjestelmissä tulee ongelmia, jos kaikki kuljettajat eivät aja samalla polttoaineella
- Onko todella kaikki autot hyväksytty 100 %:n biopolttoaineelle?
- EEV-tasosten Iveco-autojen käyttö 100 %:n uusiutuvalla dieselpolttoaineella?
- Aiheuttaako 100 %:sen biopolttoaineen käyttö lisälämmittimien säätötarpeita?
 - Volvon mukaan kyllä

Yhteenvetona voidaan todeta, ettei yksikään liikennöitsijä tyrmännyt Biosata-hanketta. Liikennöitsijät ovat kuitenkin tarkkoja kustannuksista, ja siitä, ettei biopolttoaineiden käyttöönotto saa vääristää kilpailua. Eri liikennöitsijät ovat biopolttoaineiden käyttöönoton osalta eriarvoisessa asemassa, toisaalta tankkausinfrastruktuurin (omat säiliöt versus tankkaus julkisista pisteistä) ja toisaalta teknisen osaamisen osalta.

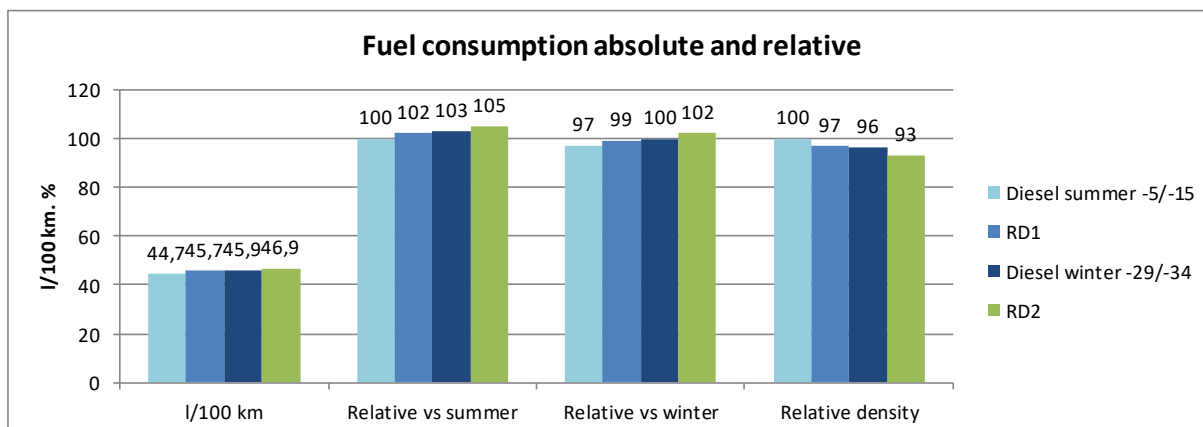
4.2 Valmisteluhankkeelle tehtyt ajoneuvomittaukset

(Mittausmenetelmät: katso kohta 5.1)

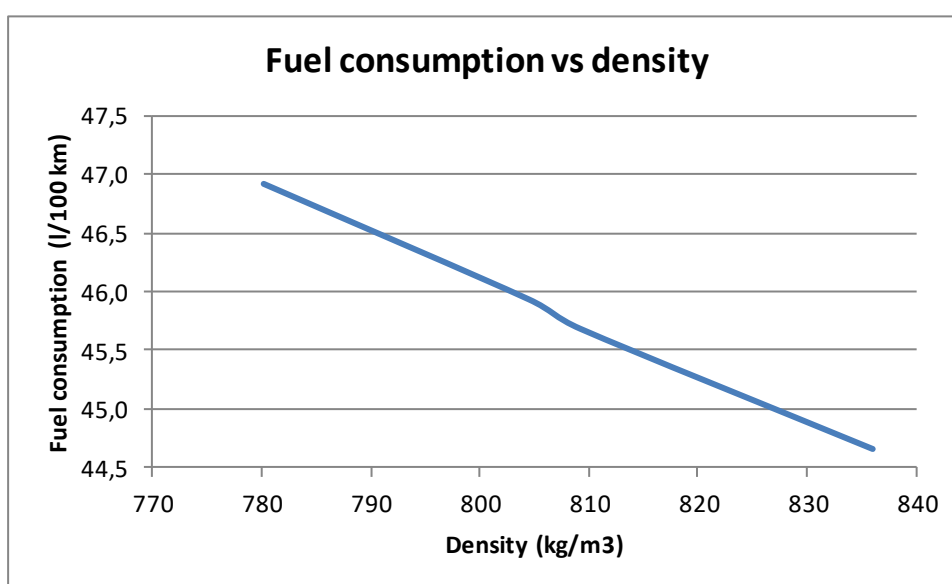
Tutkimussuunnitelmassa tehtäviin oli kirjattu myös mm. VTT ajoneuvotietokannan täydentäminen uusilla malleilla (lähinnä Euro VI tasoiset vaihtoehtoisia polttoaineita käyttävät bussit, mahdollisesti työkoneita).

Uusiutuva diesel on tavanomaista dieselpolttoainetta kevyempää, mistä on seurauksena tilavuusperusteisen polttoaineen kulutuksen lievä kasvu, varsinkin verrattaessa kesälaatuiseen perinteiseen dieselpolttoaineeseen. Liikennöitsijöiden pyynnöstä tehtiin polttoaineen kulutuksen mittauksia Euro VI -tasoisella dieselbussilla (Scania). Polttoaineita oli neljä, kaksi perinteistä dieselpolttoainelaatua (kesä ja talvi), ja kaksi toisistaan tiheydeltään poikkeavaa uusiutuvaa dieseliä RD1 ja RD2).

Tulokset on esitetty kuvissa 4.1 ja 4.2. Tilavuusperusteinen (litramääräinen) polttoaineen kulutus muuttuu käytännössä lineaarisesti polttoaineen tiheyden mukaan. Lisäys volumetrisessa polttoaineen kulutuksessa uusiutuvaa dieselpolttoainetta käytettäessä oli suurimmillaan n. 5 % tavanomaiseen kesälaatuiseen dieselpolttoaineeseen verrattuna. Uusiutuvalla dieselillä litramääräinen polttoaineen kulutus asettui keskimäärin samalle tasolle kuin perinteisellä talvilaatuisella dieselpolttoaineella.



Kuva 4.1. Polttoaineen kulutus eri polttoainelaaduilla.



Kuva 4.2. Litramääräinen kulutus polttoaineen tiheyden funktiona.

HSL:n tavoitteena BioSata-hankkeessa oli, että energiayhtiöt toimittaisivat liikennöitsijöiden käyttöön biopolttoaineita perinteisten polttoaineiden hinnalla. Jatkossa ympäristöbonuksella ei varsinaisesti hankittaisi biopolttoaineita, vaan ympäristöbonusta käytettäisiin ensisijaisesti litramääräisen lisäkulutuksen kompensoimiseen liikennöitsijöille.

VTT on vuodesta 2002 generoinut HSL:lle bussien päästötietokantaa. Päästömittausten yhteydessä mitataan myös bussien energian kulutus. Tietokannassa oli jo Euro VI dieselbussien tuloksia, mutta ei tuloksia uusimmista Euro VI tasoisista kaasubusseista. Biokaasu on kuitenkin jatkossakin yksi mahdollinen polttoainevaihtoehto kaupunkibusseihin. BioSata-valmisteluhankkeen puitteissa mittauksiin saatiin järjestettyä kaksi Euro VI tasoista kaasubussia, joiden tulokset on lisätty päästötietokantaan. Uusin bussitietokannan päivitys julkaistiin helmikuussa 2020³.

Euro VI diesel- ja kaasubusseilla on käytännössä identtiset typenoksidi (NO_x) -päästöt. NO_x-päästöt ovat alentuneet dramaattisesti Euro VI päästötasoon siirryttäessä. Kaikissa Euro VI -

³ Söderena, P., Rakebus 2019 -projektin vuosiraportti. VTT-CR-00104-20.

tasoisissa dieselautoissa on varsinainen hiukkassuodatin, ja tämä selittää alhaiset hiukkaspäästöt. Euro VI tasolla kaasuautoista näyttäisi tulevan hieman enemmän hiukkasmassaa kuin hiukkassuodattimilla varustetuista dieselautoista.

Euro VI -tasolla diesel- ja kaasuauto antavat likimain samat kasvihuonekaasupäästöt (pako-putkesta mitattu hiilidioksidi (CO₂) -päästö). Kaasubussin energian kulutus taas on luokkaa 25 % korkeampi dieselbussiin verrattuna. Kaasubussien energiatehokkuudessa on tapahtunut parantumista, mutta ero dieselin hyväksi on edelleen merkittävä.

Molemmissa autotyypeissä merkittäviä CO₂ päästövähennyksiä saavutetaan vain kestäviin biopolttoaineisiin siirtymällä (tarkastelu koko polttoaineketjun yli). Euro VI tasoiset ajoneuvot yhdistettynä uusiutuvaan polttoaineeseen ovat hyvä vaihtoehto niin lähipäästöjen kuin kasvihuonekaasupäästöjen kannalta.

5. Autokokeet (toteutusvaihe)

5.1 Yleistä

Varsinaisessa toteutusvaiheessa autokokeita tehtiin sekä bussi- että kuorma-autokalustolla. Tutkimusmenetelminä käytettiin alustadynamometrimittauksia, tien päällä tehtäviä PEMS-mittauksia sekä bussikaluston osalta myös pitempiäaikaista seuranta, mukaan lukien jatkuva- ja osavirta- NO_x-mittaus. Alustadynamometrissa tarkkuus ja toistettavuus ovat parhaimmillaan. Tarkkuus on sitä tasoa, että 1-2 % suuruiset erot polttoaineen kulutuksessa pystytään tunnistamaan.

VTT:n raskaiden ajoneuvojen tutkimuslaboratoriossa (kuva 5.1) on alustadynamometrin, moottoridynamometrin ja täyden virtaaman keräys- ja laimennuslaitteiston (CVS) lisäksi monipuolinen analyysilaitteisto sekä säänneltyjen päästöjen (hiilimonoksi CO, hiilivedyt HC, tyypin oksidit NO_x, hiukkasmassa PM ja hiukkasten lukumäärä PN) että sääntelemättömien päästöjen erikoispakokaasumittauksiin, mukaan lukien laitteistot hiukkasten yksityiskohtaiseen karakterisointiin (mm. massaemissio, kokoluokittelu, lukumäärälaskenta)¹.

FroudeConsinen valmistaman alustadynamometrin rullan halkaisija on 2,5 metriä, ja sen tehon vastaanottokyky (jatkuva) on 300 kW. Dynamometri on varustettu erittäin nopealla säätöjärjestelmällä ja sähköisellä inertian simuloinnilla mahdollistaen dynaamisen testauksen (transienttitestauksen). Inertian simulointi on säädettävissä alueella 2.500 – 60.000 kg, eli laitteistolla kyetään jäljittelemään jopa maksimiin kuormattua ajoneuvoyhdistelmää, jonka kokonaismassa on 60.000 kg. Laitteiston oma mekaaninen inertia on noin 10.000 kg.

Säännellyt pakokaasukomponentit mitataan Direktiivin 1999/96/EC vaatimukset täyttävän täyden virtaaman CVS –laitteiston (alun perin Pierburg CVS-120-WT ja sittemmin osittain AVL laitteilla päivitetty) ja analysaattorijärjestelmän (AMA i60) avulla. Päästöistä kerätään osavirtanäyte koko kokeen (tai osasyklin) ajalta näytepusseen henkilöautojen testin tapaan, josta muodostetaan yksittäisen kokeen keskiarvotulos. Lisäksi pakokaasuista määritetään hetkelliset massaemissiot. Saatua hetkellisistä massaemissioista integroitua tulosta voidaan verrata näytepusseista saatuun keskiarvotulokseen.

Bussimittauksissa ajosyklinä käytetään yleensä Braunschweig ja Word Harmonized Vehicle Cycle (WHVC) -mittausyklejä.

VTT:llä on akkreditointi raskaan kaluston alustadynamometrimittauksille (FINAS T259).

Raskaiden ajoneuvojen käytönaikainen valvonnan (In Service Conformity, ISC) ja henkilöautojen todellisten päästöjen testaus (Real Driving Emissions, RDE) tehdään ajoneuvoihin

asennettavien PEMS-emissiomittauslaitteiden avulla. Tiellä tapahtuva mittaus on laboratorio-mittausta epätarkempi, toisaalta tien päällä tapahtuva mittaus antaa paremman kuvan todellisista päästöistä vaihtelevissa liikenne- ja sääolosuhteissa.

VTT:n PEMS-laitteisto on AVL:n valmistama AVL M.O.V.E GAS PEMS iS -järjestelmä, jota on täydennetty raskaan kaluston mittauksiin sopivaksi⁴. Samaa laitteistoa on käytetty myös työkoneiden mittauksiin. Perusosassa on CO, CO₂, NO (typpioksidi) ja NO₂ (typpidioksidi) analysaattorit. Perusversiossa laitteisto ei pysty mittaamaan hiukkasmassaa, mutta kylläkin hiukkasten lukumäärän. Raskaalle kalustolle tarkoitettussa laajennusosassa on sekä gravimetrinen hiukkasmassan määrittäminen (hiukkasmassan keräys suodattimelle) että jatkuvatoiminen AVL Micro-sootsensor, joka mittaa hetkellistä nokipäästöä.

PEMS-mittalaitteesta on havaittu, että kun hyvin matalia hiukkasmassapitoisuuksia mitataan (kuten Euro VI-luokan ajoneuvot tai matalan päästötason työkoneet) laitteen mittausepätaarkuus kasvaa. Epävarmuudelle ei ole vielä pystytty määrittämään yksiselitteistä numeerista arvoa päästötasosta riippuen, jolloin sitä ei pystytä ottamaan huomioon tuloksia tarkastellessa. Tästä syystä tässä hankkeessa ei käytetty PEMS-hiukkasmassatulosta bussien eikä Wille-työkoneen osalta.

Tulokset suhteutetaan moottorin tekemään työhön (g/kWh), vaihtoehtoisesti ajettuun matkaan (g/km).

Kuvassa 5.2 on laitteiston näytteenkeräysosa asennettuna bussin taakse. Osa laitteistosta on bussin sisällä. Mittausjärjestelyt on kuvattu tarkemmin kunkin PEMS-mittausosion yhteydessä.



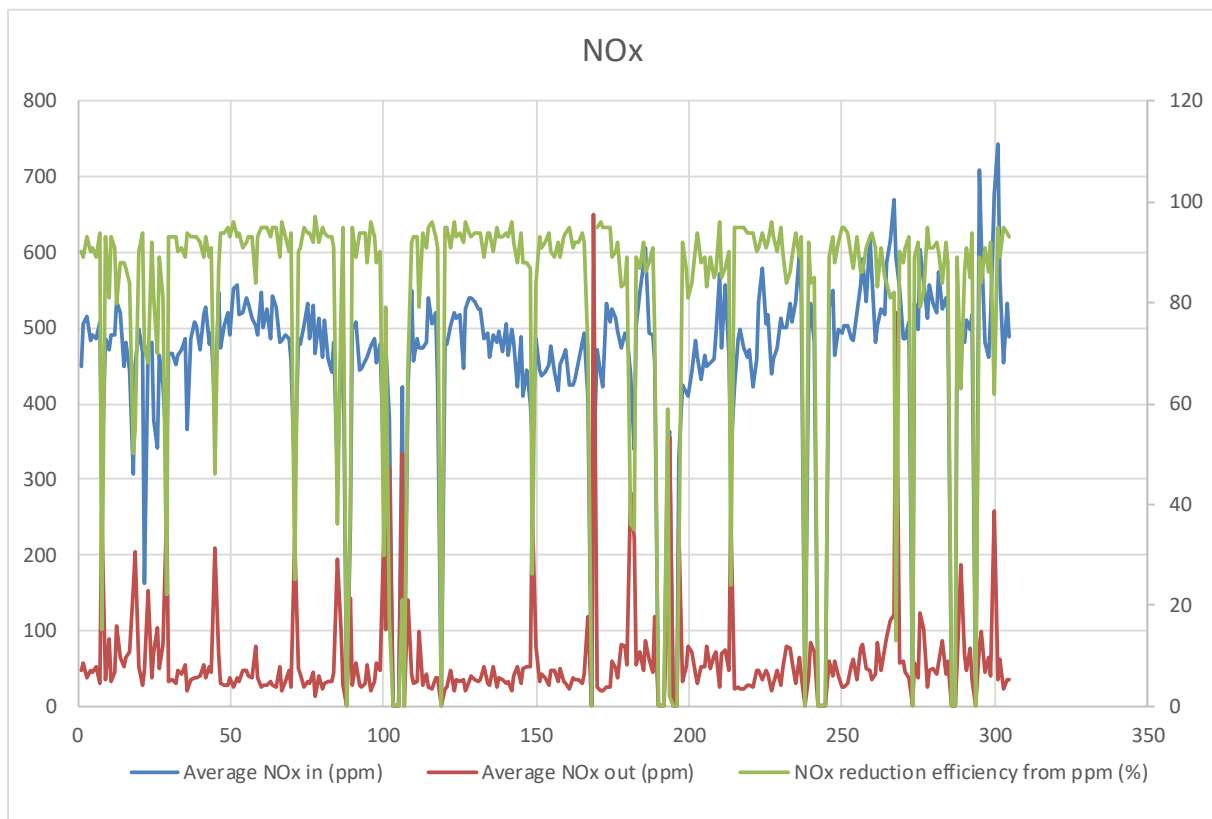
Kuva 5.1. Yleisnäkymä ajoneuvolaboratoriosta. Ylhäällä oikealla näkyy CVS-laitteiston laimennustunneli. Laboratorion lämpötila vakioidaan mahdollisimman tarkan toistettavuuden saavuttamiseksi.

Osa BioSata-hankeen busseista ja työkoneista varustettiin jatkuvatoimisella Proventia PRO-CARE™ Drive -seurantajärjestelmällä. SCR-pelkistyskatalysaattoreilla (Selective Catalytic Reduction) varustetuissa ajoneuvoissa järjestelmä mittaa mm. NO_x-pitoisuudet ennen ja jälkeen katalysaattorin, ja pitoisuuksien perusteella voidaan arvioida katalysaattorin reduktiotehokkuutta. Kuvassa 5.3 on esimerkki ennen ja jälkeen SCR-katalysaattorin mitatuista NO_x-pitoisuuksista ja niiden perusteella lasketusta reduktiotehokkuudesta.

⁴ Soderena, P., Nylund, N.-O., Pettinen, R., and Mäkinen, R., "Real Driving NO_x Emissions from Euro VI Diesel Buses," SAE Technical Paper 2018-01-1815, 2018, doi:10.4271/2018-01-1815.



Kuva 5.2. PEMS-laitteiston näytteenkeräysosa asennettuna bussin taakse.



Kuva 5.3. Esimerkki ennen (in) ja jälkeen (out) SCR-katalysaattorin mitatuista NO_x-pitoisuuksista ja reduktiotehokkuudesta (reduction efficiency).

SCR-katalysaattori vaatii tietyn pakokaasujen lämpötilan minimitason toimiakseen. Niinpä Euro VI tasoisissa autoissa nimenomaan NO_x on se päästökomentti, jossa esiintyy eniten vaihtelua toiminta- ja ympäristöolosuhteiden muuttuessa. Euro VI-tasoisissa dieselautoissa polttoaine ei juurikaan vaikuta NO_x-päästöön, mutta koska ilmanlaadun raja-arvot ylittyvät ajoittain NO₂:n osalta Helsingissä, HSL on erittäin kiinnostunut Euro VI autojen todellisista NO_x-päästöistä.

5.2 Täydentävät polttoaineen kulutusmittaukset

Polttoaineen kulutus kiinnostaa liikennöitsijöitä mitä suuremmassa määrin. Valmisteluvaiheen aikana polttoaineen kulutusmittauksia tehtiin yhdellä Euro VI -tasoisella dieselbussilla (kts. 4.2). Liikennöitsijäkokouksista saadun palautteen perusteella liikennöitsijät kaipaavat kuitenkin lisävarmistusta polttoaineen vaikutuksesta polttoaineen kulutukseen (kts 4.1).

Mittauksia jatkettiin 2018 suuremmalla automäärällä tarkemman kuvan muodostamiseksi. Tuolloin VTT:n alustadynamometrimittauksissa kävi kolme erimerkkistä Euro VI sertifioitua kaksiakselistä bussia (ei samaa merkkiä kuin valmisteluvaiheen aikana mitattu bussi). Yksi busseista ei tuottanut vertailukelpoisia tuloksia johtuen moottorin ja jälkikäsitteilyjärjestelmän epävakaasta toiminnasta. Tämän bussin mittauksissa kaikki muut polttoaineet, ml. talvilaatuinen diesel, lisäsivät energian kulutusta referenssipolttoaineeseen verrattuna. Niinpä tämän bussin tuloksia ei tämän takia sisällytetty polttoaineen kulutusta koskevaan tulosityhteenvetoon. Kunnossa olleet autot on merkitty koodeilla A ja B, vaillinaisesti toiminut auto koodilla C.

Autoista mitattiin polttoaineen kulutuksen lisäksi myös säännelty pakokaasupäästöt. Mittaukset tehtiin kahdella ajosyklillä, Braunschweig ja World Harmonized Vehicle Cycle (WHVC), joka on ajoneuvoversio moottorien Word Harmonized Transient Cycle (WHTC) tyyppihyväksymissyklillä. Vuodesta 2017 lähtien kummatkin ajoneuvosykli ovat käytössä generoitaessa dataa HSL:n bussitietokantaan¹. Kaikki mittaukset tehtiin puolella kuormalla ja täysin lämminneillä moottoreilla. Testipolttoaineita oli tälläkin kertaa neljä:

- kauppalaatuiset dieselpolttoaineet, kylmämerkinnät -5/-15 (kevät/kesä/syky, VTT:n referenssipolttoaineena käyttämä laatu) ja -29/-38 °C (talvilaatu)
- uusiutuva dieselpolttoaine 1, tiheys n. 780 kg/m³ (RD1)
- uusiutuva dieselpolttoaine 2, tiheys n. 820 kg/m³ (RD2)

Polttoaineiden analyysitiedot on esitetty taulukossa 5.1. Tosien uusiutuvan diesellaadun tiheys oli käytännössä sama kuin talvilaatuisen kauppalaatuisen dieselin tiheys. Analyysitiedot ovat saatu polttoaineiden toimittajilta.

Taulukko 5.1. Testipolttoaineiden analyysitiedot.

Ominaisuus	Yksikkö	VTT mittadiesel -5/-15	Talvilaatu -29/-38	Uusiutuva diesel "RD1"	Uusiutuva diesel "RD2"
Tiheys	kg/m ³	834	821	780	819
Setaaniluku	-	55,7	54,7	81,2	63
Alempi lämpöarvo	MJ/kg	43,02	42,35*	43,66	43,23
Volumetrinen energiasisältö	MJ/l	35,89	34,78*	34,04	35,41
Suodatettavuus (CFPP)	°C	-18	-45	-43	-13
Rikkipitoisuus	mg/kg	5.6	6.7	< 1	< 5
Aromaattipitoisuus	%, paino	17.7	20.4	0.2	ei analyysitulosta
95 % tisluspiste	°C	352	308	294	ei analyysitulosta

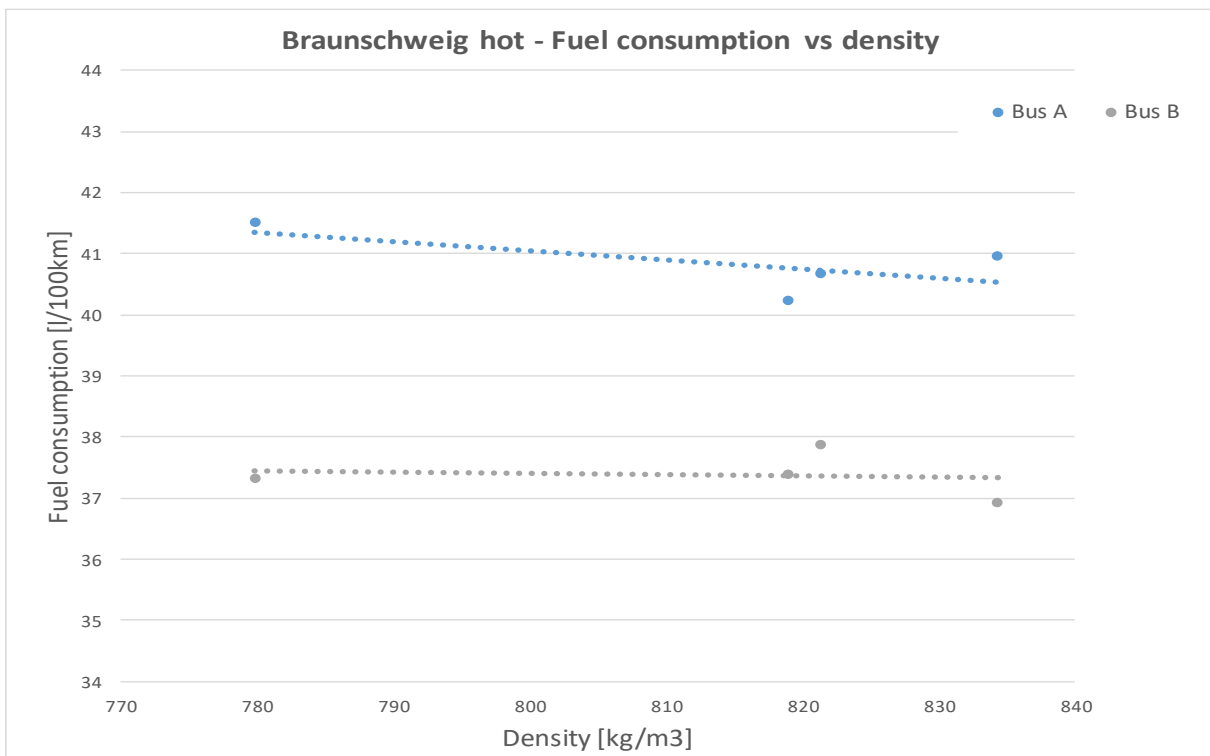
*) arvio perustuen VTT:n mittadieselin tiheyteen ja lämpöarvoon suhteutettuna talvilaadun tiheyteen

Kuvissa 5.4 (Braunschweig) ja 5.5 (WHVC) on esitetty litramääräinen polttoaineen kulutus polttoaineen tiheyden funktiona ja kuvissa 5.6 ja 5.7 energian kulutus kilometriä kohti eri polttoaineilla. Bussi B edustaa kevytrakennetekniikkaa, ja tämä näkyy alempana polttoaineen kulutuksena, etenkin hyvin transienttisessa Braunschweig-syklissä.

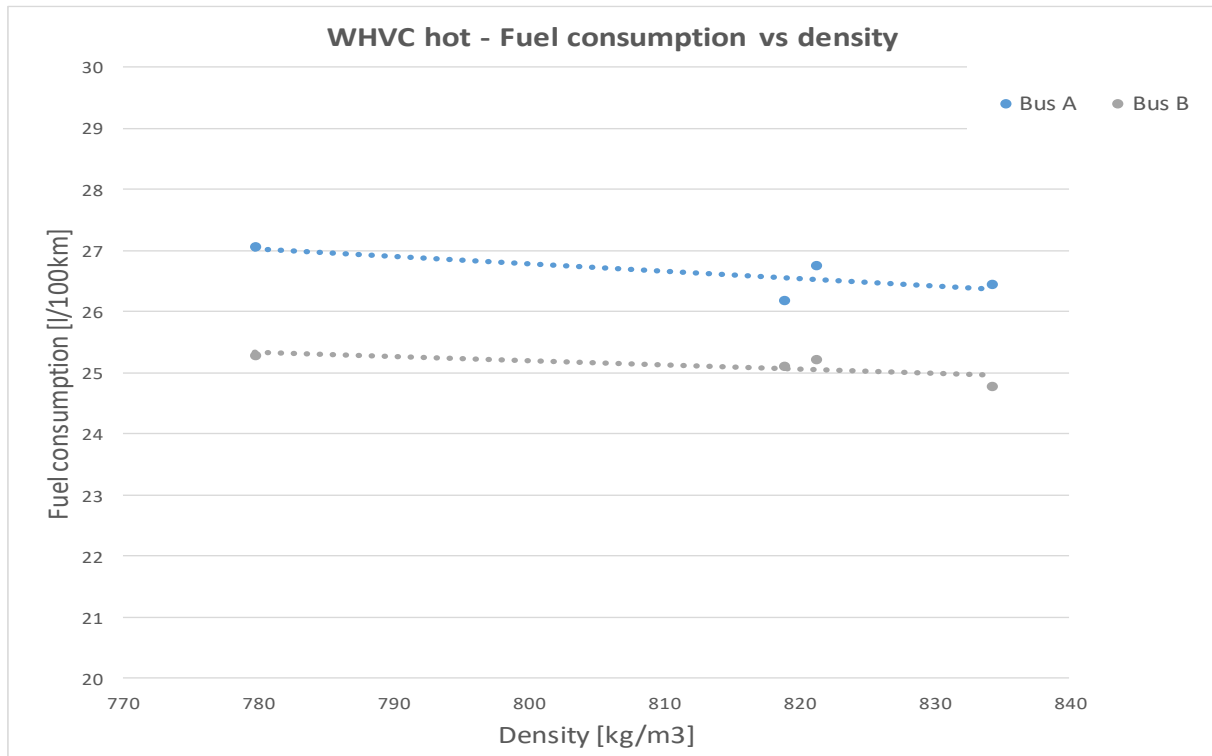
Kuvapareista nähdään, että Braunschweig-sykli on selvästi WHVC-sykliä raskaampi, ja energian kulutus on keskimäärin lähes 50 % korkeampi.

Testibusseista A ja B toimivat toistettavasti ja loogisesti. Erot litramääräisessä polttoaineen kulutuksessa ovat pieniä, ero referenssipolttoaineeseen (kevät/kesä/syky) on haarukassa -1,8...+2,5 %.

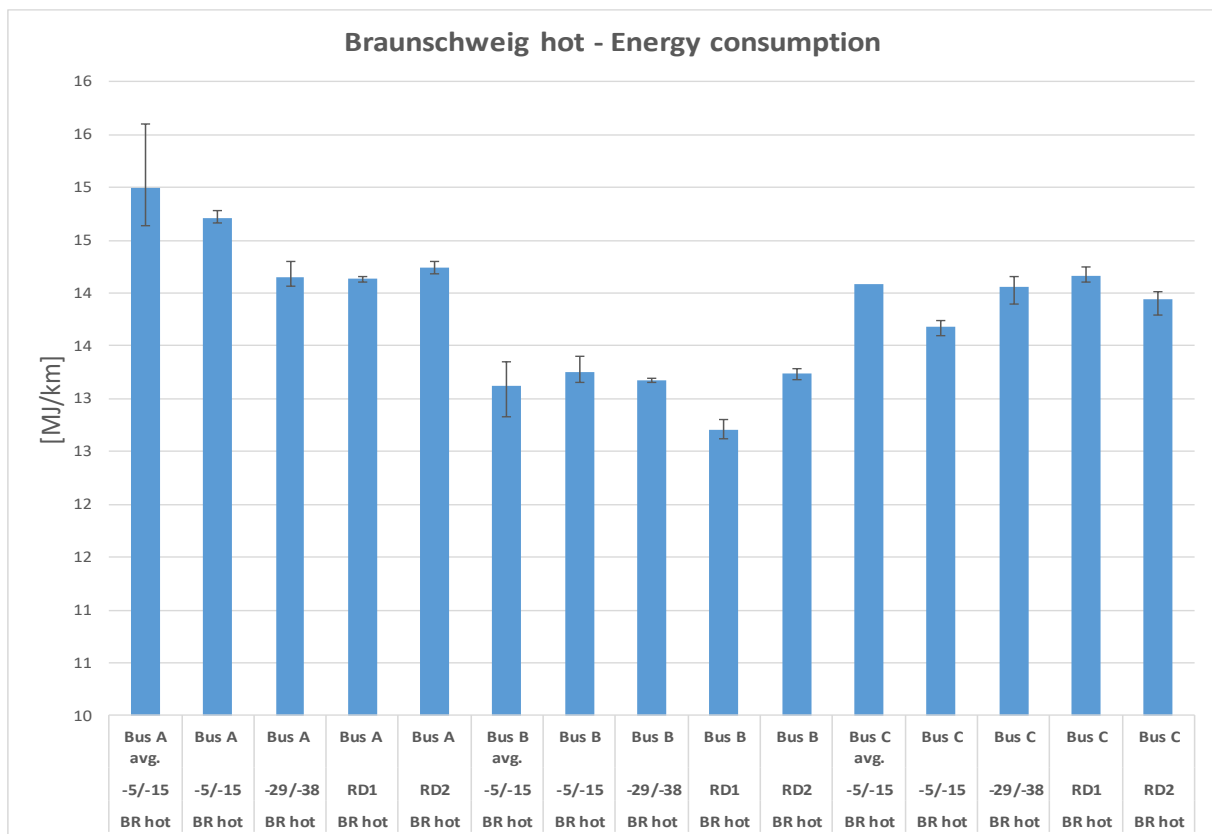
Kolmannella bussilla (C) polttoaineenkulutus ei käyttäytynyt loogisesti eri polttoaineiden välillä, tämä johtui todennäköisesti jälkikäsittelyjärjestelmän aiheuttamasta pakokaasujen lämmitystilasta. Auto pyrki puhdistamaan hiukkassuodatinta ja ylläpitämään sen toimintakuntoa tarvitsemaa lämpötilatasoa. Lisäksi tämän auton NO_x-päästöt olivat poikkeuksellisen korkeat mahdollisesta SCR-järjestelmän viasta johtuen.



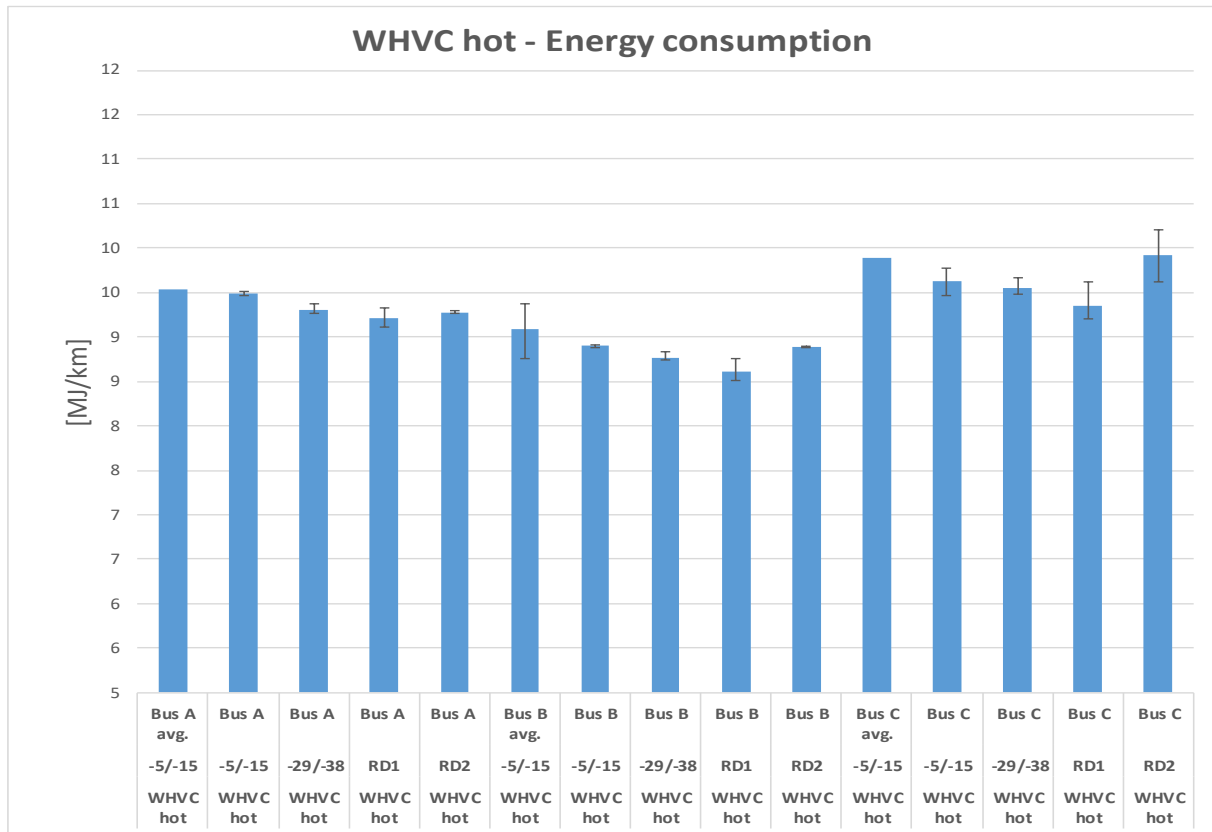
Kuva 5.4. Litramääräinen polttoaineen kulutus polttoaineen tiheyden funktiona (Braunschweig).



Kuva 5.5. Litramääräinen polttoaineen kulutus polttoaineen tiheyden funktiona (WHVC).



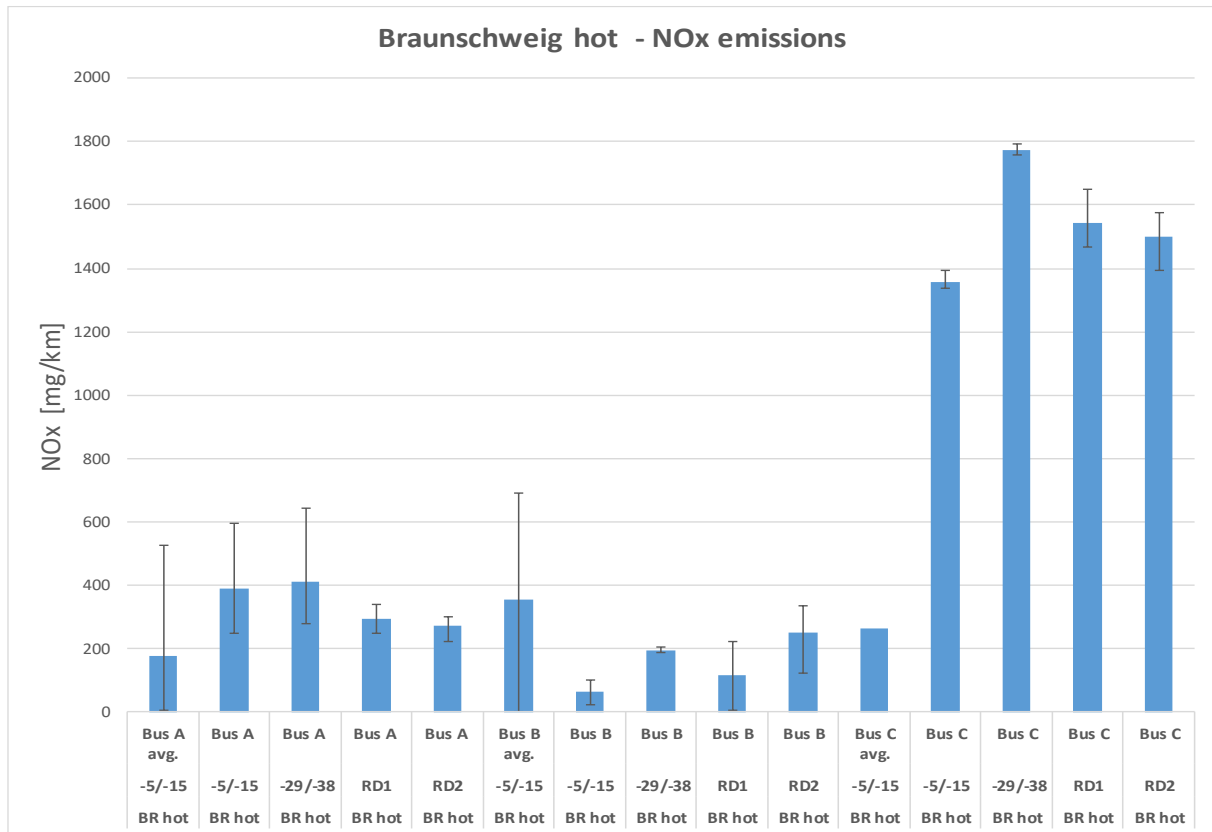
Kuva 5.6. Energian kulutus kilometriä kohti (Braunschweig).



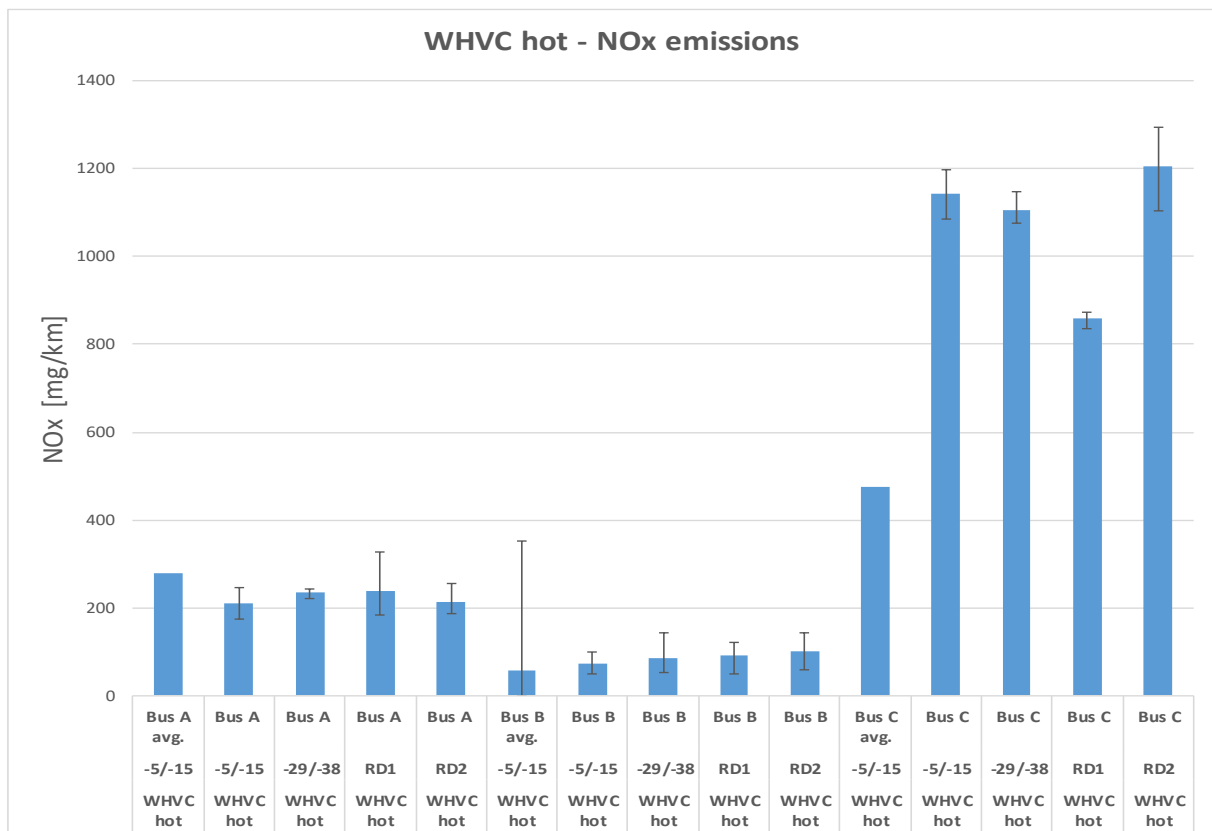
Kuva 5.7. Energian kulutus kilometriä kohti (WHVC).

Busseilla A ja B litramääräinen kulutuksen nousu on pienempää kuin mitä polttoaineiden tiheyserot tai volumetrinen lämpöarvot antaisivat aiheen olettaa. Kuvista 8 ja 9 nähdään, että näillä autoilla energian kulutus on muilla polttoaineilla keskimäärin hieman alempi kuin referenssipolttoaineella. Parempi hyötysuhde tasaa omalta osaltaan litramääräisiä kulutuseroja. Polttoaine "RD1" laski molemmissa autoissa molemmilla sykleillä energian kulutusta 3...4 %, polttoaine "RD2":n osalta lasku oli 0...3 %. Ero selittyy ensisijaisesti polttoaine "RD1":n korkealla setaaniluvulla.

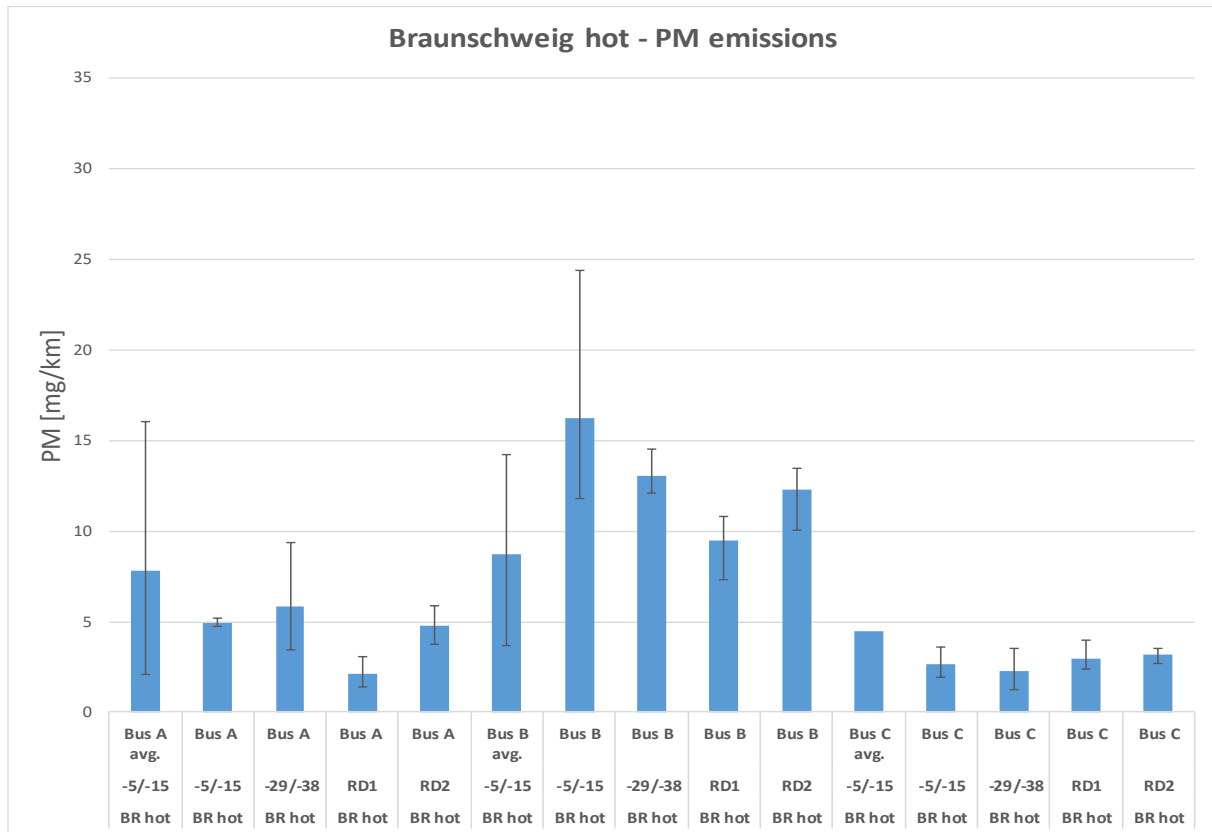
Kuvissa 5.8 ja 5.9 on NO_x-päästö ja kuvissa 5.10 ja 5.11 PM-päästö. Näihin kuviin on sisällytetty kunkin autotyypin keskimääräiset päästöarvot VTT:n bussitietokantaan perustuen (avg merkintä). Päästökuviiin on sisällytetty myös bussi C, osoituksena siitä, ettei auto toiminut normaalisti (merkittävästi poikkeava NO_x -taso, epävakaa polttoaineen kulutus).



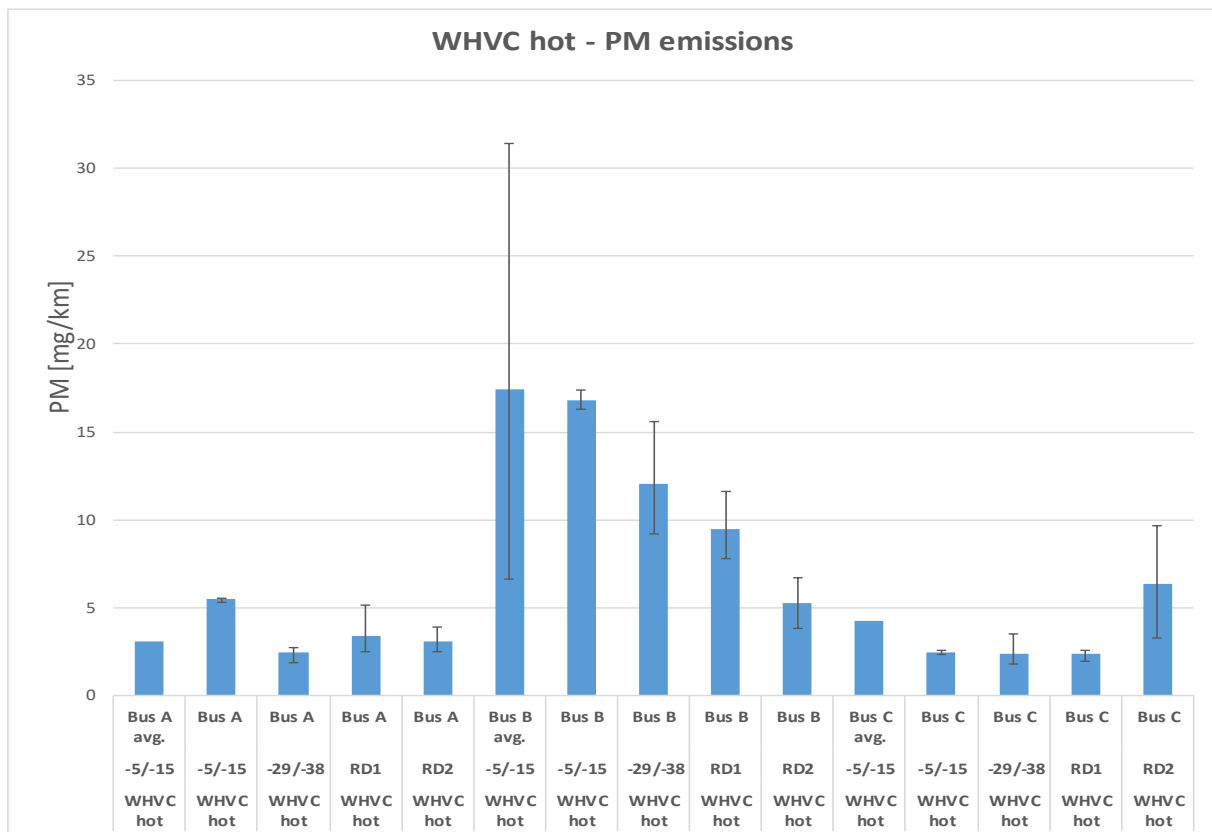
Kuva 5.8. NO_x-päästö Braunschweig-syklissä.



Kuva 5.9. NO_x-päästö WHVC-syklissä.



Kuva 5.10. PM-päästö Braunschweig-syklissä



Kuva 5.11. PM-päästö WHVC-syklissä

Kuvista 5.8 ja 5.9 nähdään, että nyt testattujen A ja B bussien NO_x-päästöt vastasivat likimain bussitietokannan arvoja, mutta että auton C arvot olivat enimmillään viisinkertaiset bussitietokannan arvoon verrattuna.

Euro VI -moottorien sertifiointiraja, 460 mg NO_x/kWh, olisi Braunschweig-syklissä alustadynamometriarvoksi muutettuna, voimansiirron ja apulaitteiden häviöt huomioiden luokkaa 700 mg/km, hieman auton painosta riippuen. Ns. In Service Conformity (ISC) -raja olisi korkeampi, suuruusluokkaa 1000 mg/km (kerroin 1,5 kaasumaisille päästöille). WHVC-syklille rajat olisivat vastaavasti noin 450 ja 700 mg/km.

Kuvista 5.8 ja 5.9 nähdään, että autot A ja B menevät selvästi rajojen alle.

Hiukkasille varsinainen Euro VI -raja-arvo olisi Braunschweig-syklissä n. 15 mg/km ja WHVC-syklissä n. 10 mg/km.

Hiukkasten osalta bussit A ja C menevät selvästi rajan alle, kun taas bussi B on lähellä rajaa Braunschweig-syklissä ja keskimäärin rajan yli WHVC-syklillä.

Euro VI -autoissa on sekä SCR-katalysaattori että varsinainen hiukkassuodatin, ja näistä syistä päästötaso on hyvin matala vanhempiin autoihin verrattuna. Niinpä odotettavissa olevat polttoaineiden väliset erot ovat pieniä. Polttoaineen vaikutuksesta NO_x-päästöön on mahdotonta vetää mitään yksiselitteistä johtopäätöstä, tulokset menevät ristiin.

Hiukkasmassan osalta ei myöskään voi tehdä yksiselitteistä kaikkia busseja A - C koskevaa tulkintaa. Tämä siitä syystä, että kaikissa autoissa oli hiukkaspäästöä merkittävästi vähentävä varsinainen hiukkassuodatin (Diesel Particulate Filter DPF). Bussien A ja B osalta uusiutuva dieselpolttoaine näyttäisi kuitenkin alentavan hiukkasmassaa.

Johtopäätelmänä polttoainevertailusta voidaan todeta, että kahdessa normaalisti toimineessa bussissa, A ja B, uusiutuvan dieselin käyttö lisäsi litramääräistä polttoaineen kulutusta enimmillään noin 3 % referenssodieseliin verrattuna. Valmisteluvaiheen aikana yhdellä autolla suoritetuissa mittauksissa autolla lisäkulutukseksi saatiin 2...5 %. Verrattaessa kevät/kesä/syysy -laadun dieselpolttoaineeseen keveimmälläkin uusiutuvalla dieselillä litramääräinen lisäkulutus jää keskimäärin alle 5 %. Kulutus ei kasva yhtä paljon kuin volumetrinen lämpöarvo tai tiheys antaisi olettaa, mikä tarkoittaa, että moottorin hyötysuhde paranee hieman uusiutuvaa dieseliä käytettäessä.

Auto C ei toiminut kunnolla, ja antoi poikkeavia tuloksia sekä polttoaineenkulutuksen että NO_x-päästöjen osalta. Tästä syystä tämän auton tuloksia ei huomioitu polttoaineen kulutuksen arvioinnissa.

Polttoaineella ei ollut yksiselitteistä vaikutusta NO_x-päästöön, mutta sen sijaan uusiutuva dieselpolttoaine näyttäisi alentavan hiukkaspäästöjä autojen A ja B osalta.

5.3 Kenttäseuranta Pohjolan Kaupunkiliikenteen kalustolla

5.3.1 Yleistä

Bussien seurantaohjelman suunnittelu käynnistyi alustavasti syksyllä 2017 yhteistyössä Pohjolan Liikenteen ja Nesteen kanssa. Pohjolan Liikenteellä on jo pitempään ollut kiinnostusta uusiutuvaan dieselin käyttöön, ja yhtiö osallistui vuosien 2007 - 2010 "Optibio"-hankkeeseen kokeilemalla sekä 100 %:n uusiutuvaa dieselpolttoainetta että seospolttoainetta¹. Pohjolan Liikenne on myös hyvällä menestyksellä tarjonnut uusiutuvaa dieselpolttoainetta HSL:n ympäristöbonuskilpailuun vuosina 2017, 2018 ja 2019. Yhtiön kiinnostus uusiutuviin polttoaineisiin, tekninen valmius niiden käyttämiseen (mahdollisuus järjestää eriytetty polttoainejakelu, ts.

tankkausmahdollisuus sekä perinteiselle että uusiutuvalle dieselille) sekä menestyminen ympäristöbonuskilpailussa mahdollistivat kenttäkokeen toteuttamisen. Varsinaiseen suunnitteluun ja sopimiseen päästiin joulukuussa 2017, HSL:n vuoden 2018 ympäristöbonuskilpailun ratkettua. Kenttäkokeen toteutus alkoi helmikuussa 2018, päättyen loppumittauksiin marras-joulukuussa 2019.

Seurannan kohteeksi valittiin yhteensä kymmenen kolmeakselista Euro VI -tasoista autoa, viisi plus viisi autoa kahdelta valmistajalta. Ryhmien sisällä autot ovat identtisiä. Toisella valmistajalla tässä bussityypissä ("D") NO_x-hallinta perustuu pelkkään SCR-pelkistyskatalysaattoriin ja toisella ("E") pakokaasujen takaisinkierätyksen (EGR, Exhaust Gas Recirculation) ja SCR-katalysaattorin yhdistelmään (EGR+SCR). Kaikissa autoissa on varsinainen hiukkassuodatin (DPF).

Ryhmien sisällä autot jakautuivat seuraavasti:

- kolme ajoi 100 %:lla Neste MY uusiutuvalla dieselillä (R= renewable= uusiutuva)
- kaksi ajoi 100 %:lla kauppalaatuisella EN590 standardin dieselillä (F=fossil= fossiilinen)

Alustadynamometrillä tehtyihin päästö- ja kulutusmittauksiin valittiin neljä autoa:

- merkistä "D" yksi auto uusiutuvalla (merkintä DR) ja yksi EN590 (merkintä DF) polttoaineella
- merkistä "E" niin ikään yksi auto uusiutuvalla (merkintä ER) ja yksi EN 590 (merkintä EF) polttoaineella

Näillä samoilla autoyksilöillä tehtiin myös PEMS-mittauksia. Lisäksi nämä autoyksilöt varustettiin jatkuvatoimisella Proventian PROCARE™ Drive NO_x-päästöjen monitorointijärjestelmällä.

Kenttäkokeella haluttiin yleisellä tasolla selvittää polttoaineen vaikutus autojen toimivuuteen ja suorituskykyyn. Erityisen mielenkiinnon kohteita olivat pakokaasupäästöt ja polttoaineen kulutus. Parafiininen polttoaine vähentää moottorista ulos tulevien hiukkasten massaa, ja tätä kautta hiukkassuodattimen kuormitusta. Jos hiukkassuodattimen regenerointitarve vähenee, tämän pitäisi teoriassa näkyä alentuneena polttoaineen kulutuksena, koska aktiivinen hiukkassuodattimen regenerointi lisää polttoaineen kulutusta hetkellisesti.

Projektin aikana pyrittiin myös tutkimaan tuhkan kertymistä hiukkassuodattimeen vaihtamalla kahteen autoon uudet hiukkassuodattimet.

Seurannasta sovittiin mm. seuraavaa:

- vika- ja huoltodatan kerääminen pohjautuu Pohjolan Kaupunkiliikenteen jo olemassa oleviin järjestelmiin, VTT vastaa datan käsittelystä
- polttoaineenkulutuksista raportoidaan suhteelliset erot, ei absoluuttiarvoja
- SCR-järjestelmien ureankulutukset tallennetaan, mikäli mahdollista, raportoidaan vain suhteelliset arvot
- pyritään kirjaamaan ylös öljynkulutus ja käytetty öljyalaatu
- tutkitaan kuinka paljon polttoaine tuottaa tuhkaa hiukkassuodattimeen ja miten tuhka mahdollisesti vaikuttaa polttoaineenkulutukseen
- kahteen Proventia PROCARE™ Drive NO_x-monitorointilaitteilla varustettuun autoon (yksi Neste MY -polttoaineella ja yksi EN590-polttoaineella) asennetaan uudet hiukkassuodattimet projektin ajaksi
 - hiukkassuodattimien punnitus projektin alussa
 - hiukkassuodattimien punnitus projektin lopussa pakotetun regeneroinnin jälkeen

Jo etukäteen tiedettiin öljyn kulutuksen tarkka seuranta haasteelliseksi. Suurimpana ongelmana tuli esille se, että öljyä lisätään autojen varsinaisten huoltojen välissä varikolla huoltoyhtiön toimesta, eikä lisätyn öljyn tilastointia ollut helposti luotettavasti järjestettävissä. Lisäksi autojen määräaikaishuoltojen yhteydessä suoritettavassa öljynvaihdossa täytetyn öljyn määrää ei ollut mahdollista tilastoida riittävällä tarkkuudella.

Myös hiukkassuodattimiin kerääntyvän tuhkan seurannassa tuli vastaan hankaluuksia.

Koko 10 seurattavan auton ryhmän osalta ajokilometrit aikavälillä helmikuu 2018 - marraskuu 2019 asettuvat haarukkaan 80.000 - 168.000 km, varsinaisiin mittauksiin osallistuneiden autojen osalta 101.000 - 126.000 km.

Pohjolan Kaupunkiliikenteen kanssa toteutetusta kenttäkokeesta raportoidaan seuraavat asiat:

- alustadynamometrissa toteutetut seurantamittaukset
- tien päällä tehdyt PEMS-mittaukset
- jatkuvatoiminen NO_x-seuranta
- polttoaineen kulutuksen seuranta
- vika- ja huoltodata
- hiukkassuodattimien tutkimus

5.3.2 Alustadynamometrissa toteutetut seurantamittaukset

Edellä kuvatun mukaisesti alustadynamometrimittauksissa kävi neljä autoa:

- tyyppi "D", pelkkä SCR, polttoaineena MY Diesel (DR) ja EN590 (DF)
- tyyppi "E", EGR + SCR

Testisykleinä oli sekä Braunschweig- että WHVC -sykli, kumpikin täysin lämmenneillä moottoreilla. Mittauksilla haluttiin ensisijaisesti tutkia autojen päästöjen ja polttoaineen kulutuksen muuttumista ajomatkan funktiona, ja kenttäkokeessa käytetyn polttoaineen (uusiutuva diesel-polttoaine, kauppalaatuinen dieselpolttoaine) vaikutusta tähän. Seurantamittaukset päätettiin toteuttaa siten, että kaikissa autoissa käytetään mittauksen aikana samaa polttoainetta (EN590 diesel), jolloin mahdollinen polttoaineen vaikutus ikääntymiseen tulisi esille. Toinen perustelu menettelylle oli itse mittauksitapahtuman yksinkertaistaminen. Tuloksia tarkasteltaessa siis huomioitava, että kaikissa autoissa testitilanteessa polttoaineena oli tavallinen EN590 polttoaine.

Autot kävivät alustadynamometrimittauksessa neljä kertaa. Alkumittaukset tehtiin helmi-maaliskuussa 2018, jolloin autoilla oli ajettu n. 130.000 - 165.000 km.

Tuloksista kävi ilmi, että autoista päästöjenhallintalaitteistot eivät toimineet normaalilla tavalla. Kaikissa autoissa oli korkeahko NO_x-päästö, ja yhdessä autossa lisäksi korkea hiukkaspäästö. Tästä syystä autot kävivät maahantuojojen huollossa, jonka jälkeen ne mitattiin uudelleen kesäkuussa 2018.

Uusintamittauksessa havaittiin NO_x- ja PM -tasojen laskeneen osassa autoista, mutta kovin merkittävää muutosta ensimmäisiin mittauksiin ei tapahtunut. Ajokilometrit olivat tällöin 149.000 - 176.000 km. Seuraava mittauskierto toteutettiin maaliskuussa 2019, jolloin autoilla oli ajettu 206.000 - 230.000 km. Loppumittaukset tehtiin marraskuussa 2019, jolloin autoilla oli ajettu 250.000 - 302.000 km. Varsinaisen seurantajakson aikana autoilla ajettiin siis 101.000 - 126.000 km.

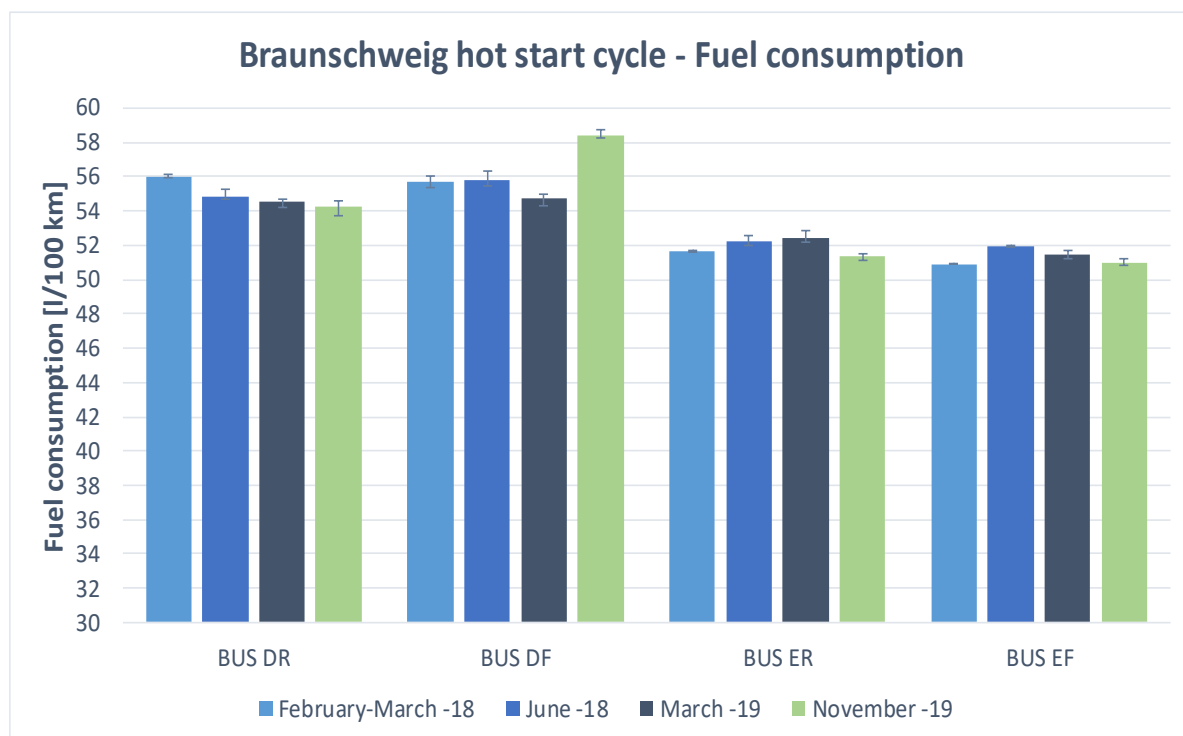
Polttoaineen kulutuksen osalta tulokset on esitetty muodossa l/100 km, päästötulokset (NO_x, PM) niin ikään ajomatkaan suhteutettuna muodossa mg/km. Varsinaisten sertifiointimittausten päästörajat ilmoitetaan muodossa mg/kWh tai g/kWh moottorin kampiakselilla. Auton vetäviltä pyöriltä mitatut matkaan suhteutetut päästöarvot voidaan kuitenkin muuntaa moottorille lasketuiksi viitteellisiksi arvoiksi huomioimalla mm. voimansiirtolinjan ja apulaitteiden häviöt. Viitteellinen Euro VI NO_x-raja-arvo on noin 1500 mg/km Braunschweig- ja noin 900 mg/km WHVC-syklissä. Käytönaikaisen valvonnan varsinaisia raja-arvoja korkeammat ISC-rajat olisivat vastaavasti n. 1000 ja 600 mg/km.

Tulokset on esitetty kuvissa 5.12 ja 5.13 (polttoaineen kulutus), 5.14 ja 5.15 (NO_x-päästö) ja 5.16 ja 5.17 (PM-päästö) niin, että parien ensimmäinen kuva on Braunschweig ja jälkimmäinen kuva WHVC tuloksia.

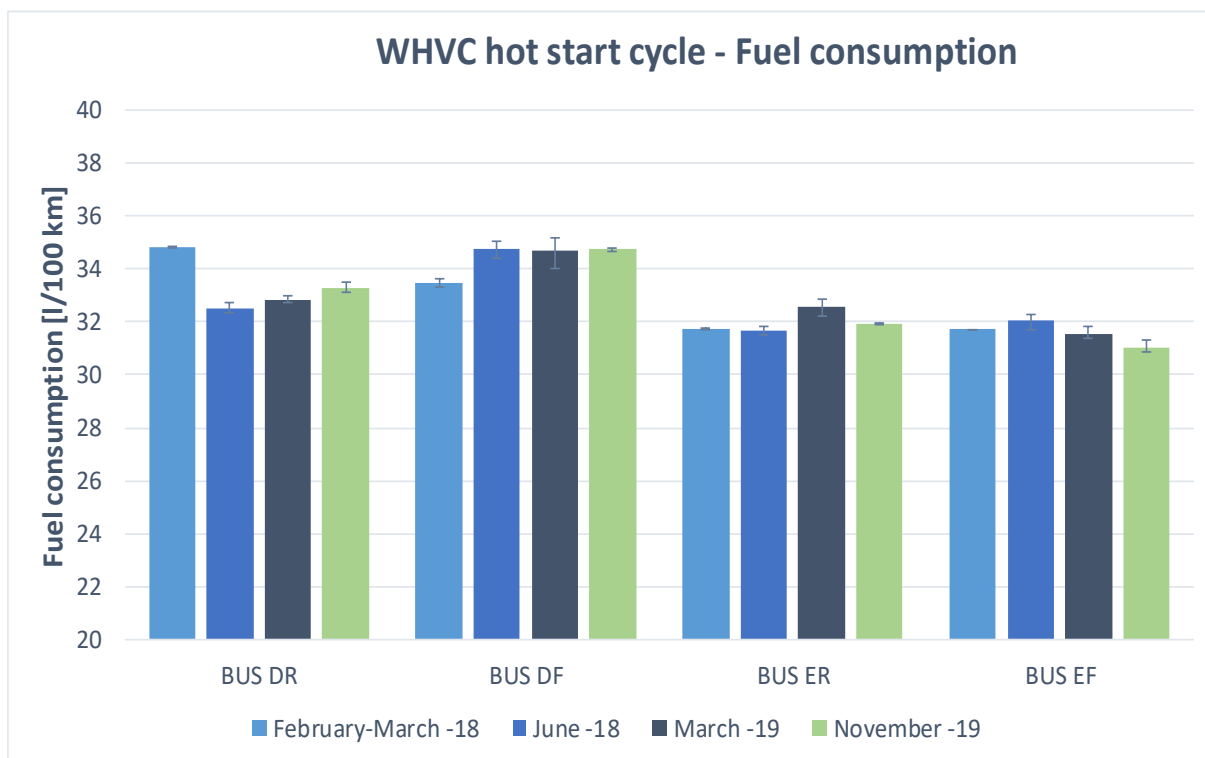
"D"-tyypin autot ovat hieman raskaampia kuin "E"-tyypin autot, tästä johtuu merkkien välinen kulutusero. Kolme autoa neljästä kulutti yhtä paljon tai enemmän polttoainetta huollon jälkeen kuin ennen huoltoa, auton DF kohdalla polttoaineen kulutus laski huollon jälkeen. "E"-tyypin autoissa polttoaineen kulutus oli varsin vakaa, eikä eroja uusiutuvaa polttoainetta käyttäneen auton (ER) ja tavanomaista dieselpolttoainetta (EF) käyttäneen auton välillä esiintynyt.

"D"-tyypin autoissa esiintyi enemmän vaihtelua. Näiden autojen kohdalla tavanomaista dieselpolttoainetta käyttäneen auton (DF) kulutus oli keskimäärin korkeampi kuin uusiutuvaa polttoainetta käyttäneen auton (DR) kulutus, ja tavanomaista dieselpolttoainetta käyttäneen auton (DF) kohdalla kulutus näyttäisi nousevan ajokilometrien karttuessa.

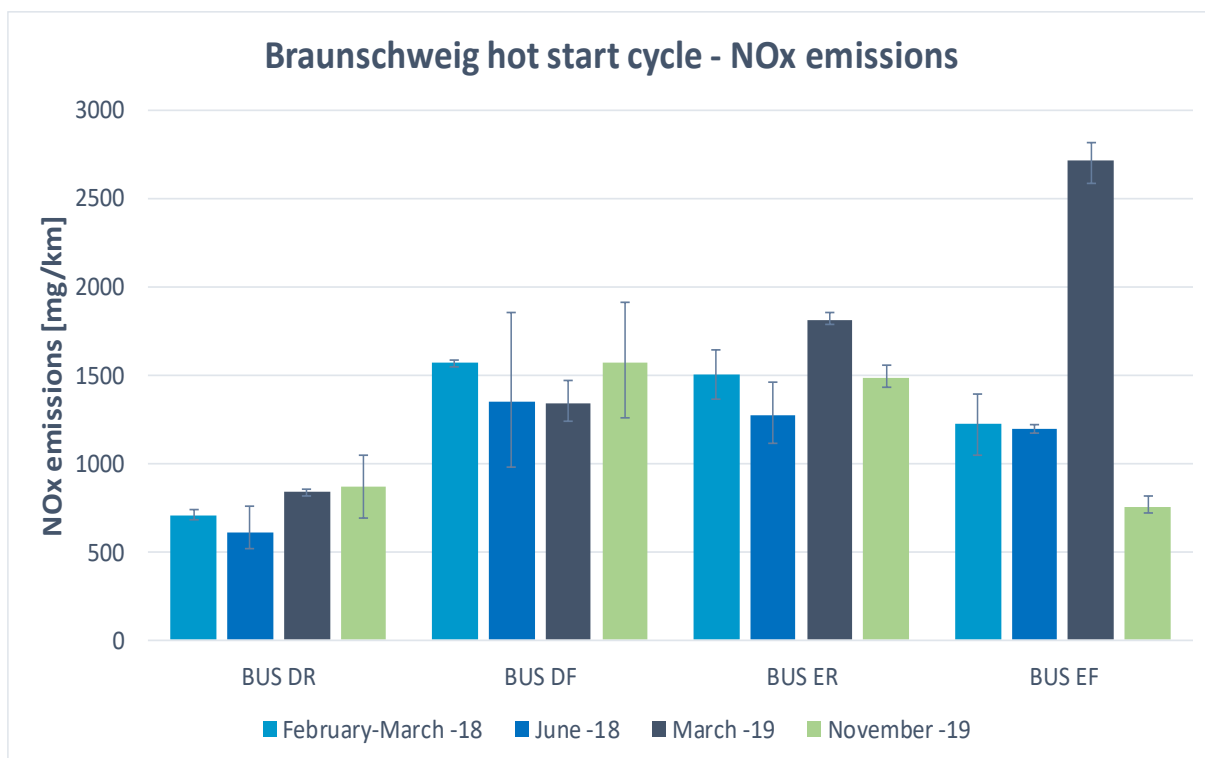
Pakokaasupäästöissä esiintyi merkittävää vaihtelua. Huoltotoimenpiteiden tuloksena NO_x-päästön osalta suurin muutos tapahtui autossa DR, jonka päästö WHVC-syklissä laski alle kolmasosaan alkuperäisestä, ja joka ainoana auton pysyi alle viitteellisten Euro VI- ja ISC-tasojen. Kolmen muun auton NO_x-päästöt olivat huollon jälkeen Braunschweig-syklillä tasolla 1200...1300 mg/km, varsinaisen Euro VI- ja ISC-tason välimaastossa. Parhaiten pärjänneen auton DR sisarauto DF puolestaan tuotti huollon jälkeen joukon korkeimmat NO_x-päästöt.



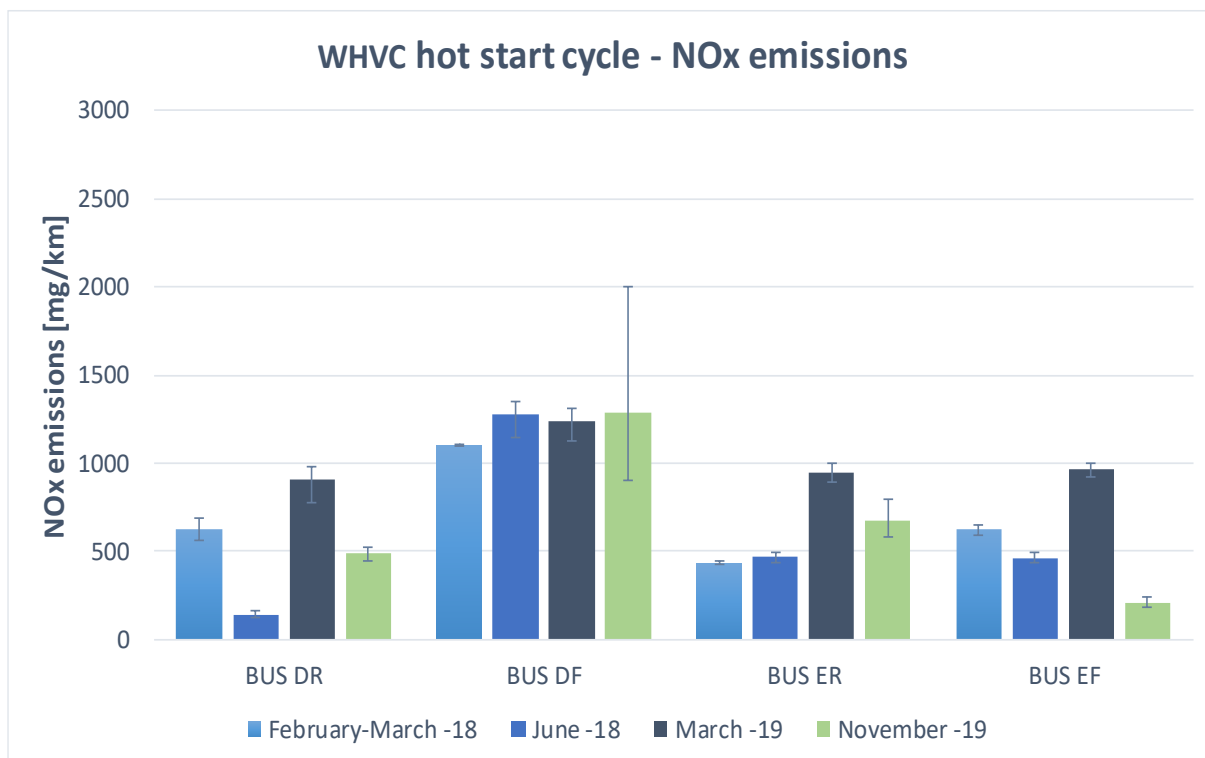
Kuva 5.12. Polttoaineen kulutus, Braunschweig-sykli, kuumakäynnistys.



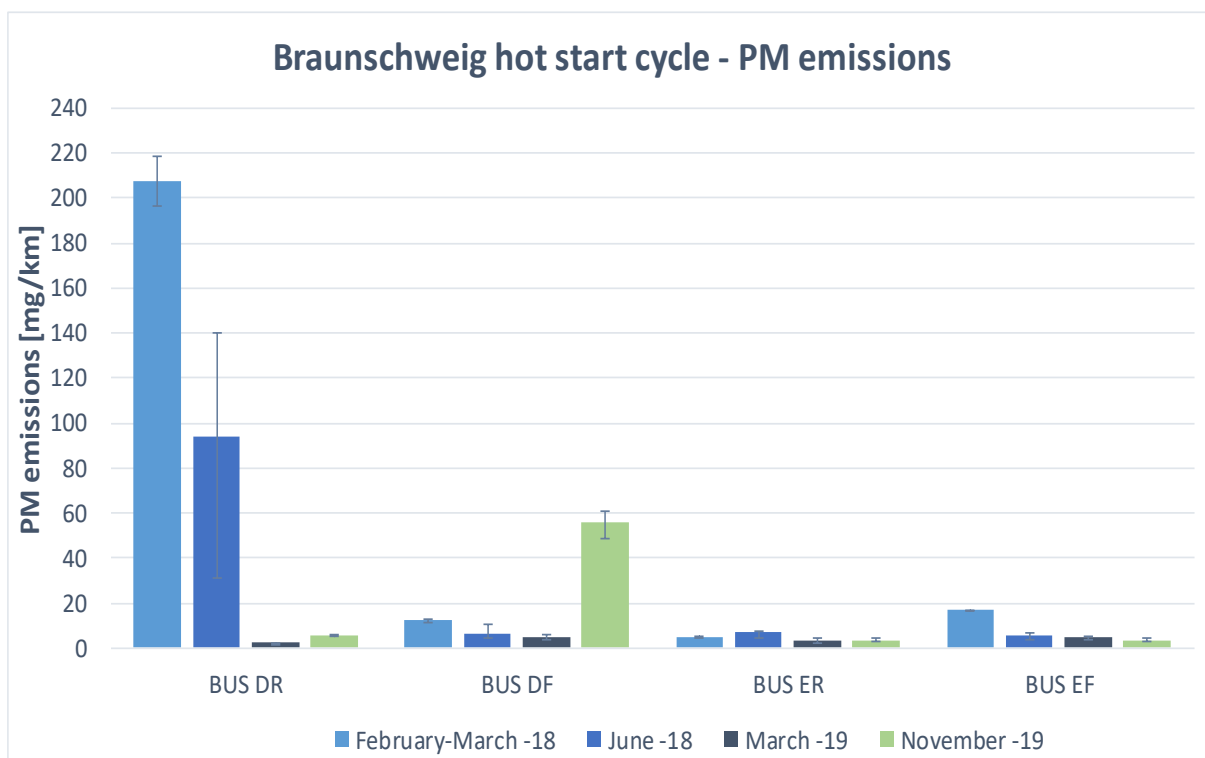
Kuva 5.13. Polttoaineen kulutus, WHVC-sykli, kuumakäynnistys.



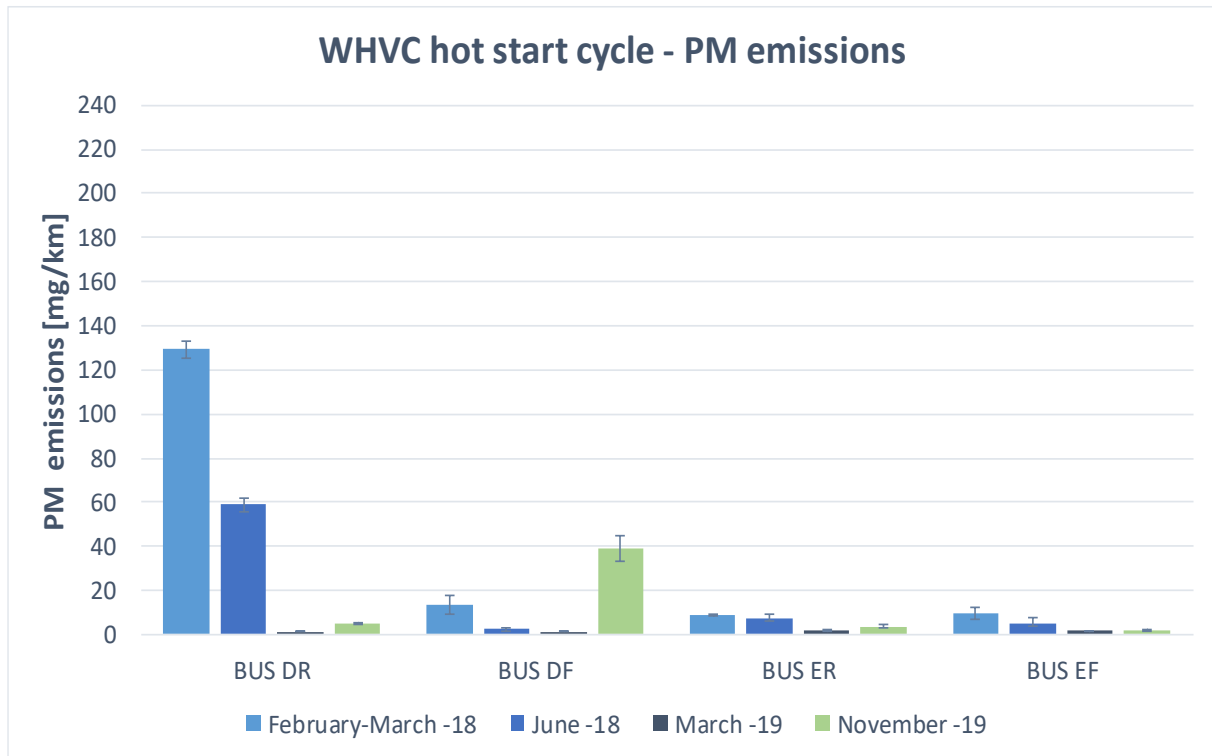
Kuva 5.14. NO_x-päästö, Braunschweig-sykli, kuumakäynnistys.



Kuva 5.15. NO_x-päästö, WHVC-sykli, kuumakäynnistys.



Kuva 5.16. PM-päästö, Braunschweig-sykli, kuumakäynnistys.



Kuva 5.17. PM-päästö, WHVC-sykli, kuumakäynnistys.

Hiukkasten osalta tilanne oli käänteinen, auton DR PM-päästö menee selvästi yli rajojen sekä ennen että jälkeen huollon. Viitteellinen Euro VI-raja-arvo on noin 20 mg/km (Braunschweig) ja noin 15 mg/km (WHVC).

Huollon jälkeen tehdyissä mittauksissa esiintyy edelleenkin hajontaa. NO_x-päästöjen osalta bussin DR NO_x-taso palautui käytännössä alkuperäiselle tasolle. Bussi DF toimi varsin tasaisesti, mutta keskimääräinen taso oli korkeampi kuin autossa DR. Myös auto ER toimi melko vakaasti. Auton EF kohdalla esiintyi piikki maaliskuussa 2019 tehdyssä mittauksessa, mutta loppumittauksissa tämä auto antoi kaikkein matalimmat NO_x-päästöt.

Loppumittauksissa autot DR ja EF jäivät alle viitteellisten ISC-rajojen (Braunschweig 1000 ja WHVC 600 mg/km) autojen DF ja ER ylittäessä nämä rajat. Loppumittauksissa korkeimmat arvot antoi auto DF.

Vaikka huolto ei laskenut auton DR hiukkaspäästöjä toivotulle tasolle, auto toimi kuitenkin hiukkasten osalta hyvin kahdessa viimeisessä mittauksessa (maaliskuu 2019 ja marraskuu 2019). Loppumittauksissa autojen DR, ER ja EF hiukkaspäästöt olivat alle viitteellisten Euro VI -raja-arvojen, mutta auton DF osalta oli tapahtunut hypähdyksen omainen kasvu tasolle 40 - 60 mg.

Kenttäkoeautojen ja myös polttoainevertailun tulokset osoittavat, että Euro VI -tasoiset autot ovat päästöiltään varsin epästabiileja. Vastaava ilmiö näkyy myös ns. Rakebus-hankkeen (HSL:n ja VTT:n bussitietokanta) tuloksissa. VTT onkin alkanut ilmoittaa päästötulokset ajokilometrien mukaan jaoteltuna (0-150.000 km, 150.000-500.000 km, yli 500.000 km).

Euro VI -autoille on tyypillistä, että mittausten aikana autot saattavat mennä nk. lämmitysmoodiin, jolloin pakokaasujen lämpötilaa nostetaan hiukkassuodattimen regeneroinnin helpottamiseksi. Tällöin mittaustulokset vääristyvät. Näin tapahtui ainakin auton DR osalta ensimmäisessä mittauksessa ja auton DF osalta toisessa mittauksessa. Ko. tilanteissa mittaukset toistetaan, mutta aina auto ei palaudu täysin "normaaliin" tilaan mittauksiin käytettävissä olevan ajan puitteissa.

Tästä voidaan vetää se johtopäätös, että polttoaineen suora vaikutus päästöihin hukkuu Euro VI -tasoissa autoissa autojen toiminnan vaihtelujen alle. Nyt tehdyllä kenttäkokeella pyrittiin selvittämään, miten polttoaine vaikuttaa autojen suoritusarvojen muuttumiseen ajomatkan karttuessa.

Tulosten perusteella voidaan todeta, autojen lähtötilanne huomioiden, ettei kumpikaan uusiutuva polttoainetta käyttänyt auto suoriutunut ainakaan huonommin kuin EN590 polttoainetta käyttänyt vertailuparinsa. Tämä pätee polttoaineen kulutukseen, NO_x-päästöihin ja hiukkas-päästöihin. Tässä on huomattava, että kaikki mittaukset tehtiin EN590-polttoaineella, joten edellä oleva toteamus koskee autojen muuttumista ajomatkan kertyessä. Yleisellä tasolla voidaan todeta, että polttoaineiden vaikutukset päästöihin jäivät kuitenkin helposti piiloon Euro VI -autojen päästöjen hallintajärjestelmän toiminnan vaihtelun alle (kts. kohta 5.2, täydentävät polttoaineen kulutusmittaukset).

5.3.3 Tien päällä tehdyt PEMS-mittaukset

Alustadynamometrimittauksiin osallistuneille anturoiduille autoille tehtiin lisäksi kaksi PEMS- (Portable Emission Measurement System) mittauskampanjaa normaalin liikenteen seassa. Mittauksilla saadaan tietoa todellisista päästöistä, ja lisäksi vertailudataa PEMS-järjestelmän ja yksinkertaisemman Proventia PROCARE™ -järjestelmän välille. Ensimmäinen mittauskampanja suoritettiin joulukuu 2018 - tammikuu 2019 aikana, ja toinen lokakuu - marraskuu 2019 aikana. Ensimmäisen mittauskampanjan aikana lämpötila oli -3...+4 °C, toisen -1...+9 °C.

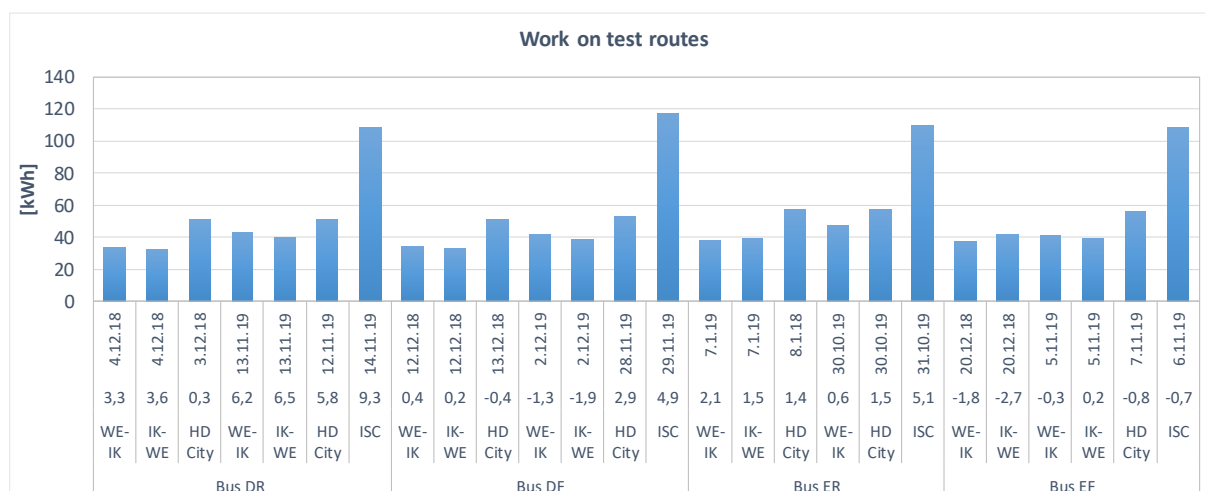
PEMS-mittaukset ajettiin autojen polttoainesäiliöissä olleella polttoaineella, eli kaksi bussia uusiutuvalla MY Diesel polttoaineella ja kaksi bussia EN590 polttoaineella. Bussien PEMS-mittauksissa mittalaitteella mitatut päästökomponentit olivat CO, CO₂, NO_x sekä PN. CO-päästöä ei tulosityhteenvedossa esitetä, sillä Euro VI-autojen CO-päästöt ovat tyypillisesti hyvin matalat johtuen autoissa käytetystä diesel hapetuskatalysaattorista (DOC) joka hapettaa tehokkaasti HC- sekä CO-päästöt hiilidioksidiksi ja vedeksi.

Testireittejä oli neljä:

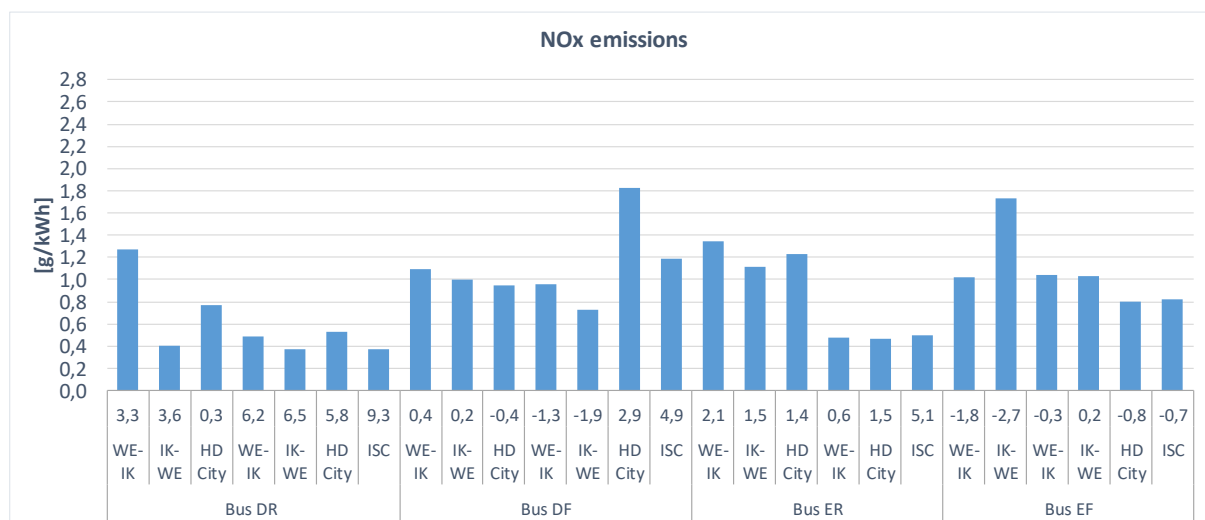
- linjan 550 reitti suuntaan Westendin asema (WE) - Itäkeskus (IK), pituus 27,5 km, työmäärä n. 1,25 kWh/km
- linjan 550 reitti suuntaan Itäkeskus - Westendin asema, pituus 27,5 km, työmäärä n. 1,2 kWh/km
- VTT:n oma raskaiden ajoneuvojen Helsinki-sykli "HD City", pituus 40 km, työmäärä n. 1,4 kWh/km
- ISC-vaatimukset täyttävä testisykli, yhdistelmä kaupunkiajoa (0 - 50 km/h), esikaupunkiajoa (50 - 75 km/h) ja moottoritieajoa (>75 km/h), pituus 107 km, työmäärä n. 1,0 kWh/km

ISC-sykli otettiin mukaan vasta toisella mittauskerralla. Muutenkaan joka autosta ei välttämättä saatu ajettua jokaista sykliä eri mittauskerroilla.

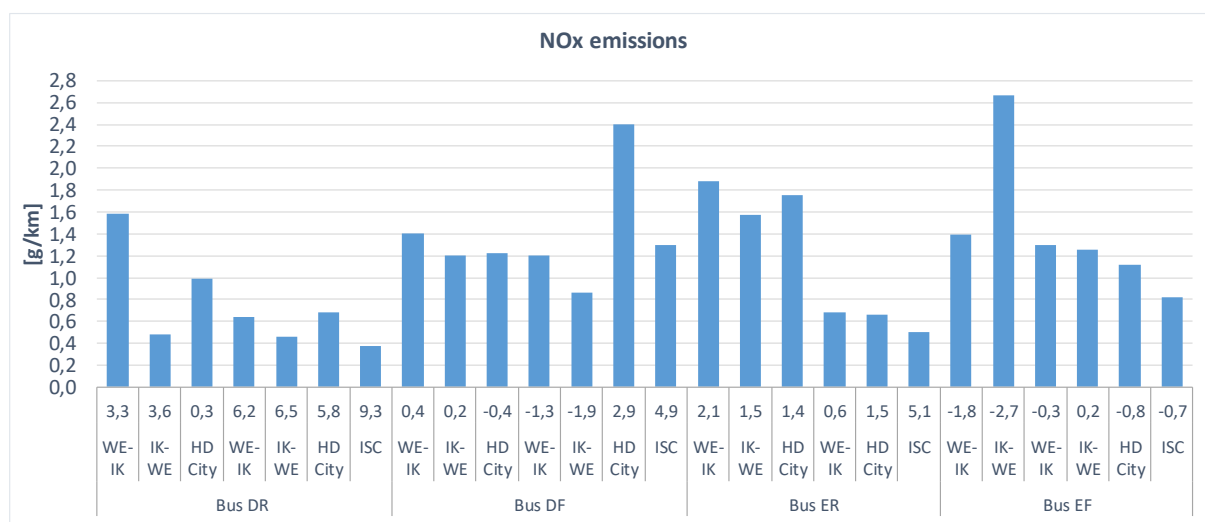
Moottorin tekemä työ saatiin määritettyä CAN-väylän tiedoista. Kuvassa 5.18 on esitetty eri kokeissa toteutunut työ. Liikennetilanteista ja sääolosuhteista johtuen työmäärissä on pieniä eroja. Tulokset NO_x-päästöjen (kuva 5.19 ja 5.20) osalta on esitetty sekä työmäärään, että ajokilometreihin suhteutettuna (g/kWh ja g/km) ja hiukkaslukumäärien (kuva 5.21) osalta tulokset on esitetty muodossa g/kWh kussakin testissä tehtyyn työhön suhteutettuna.



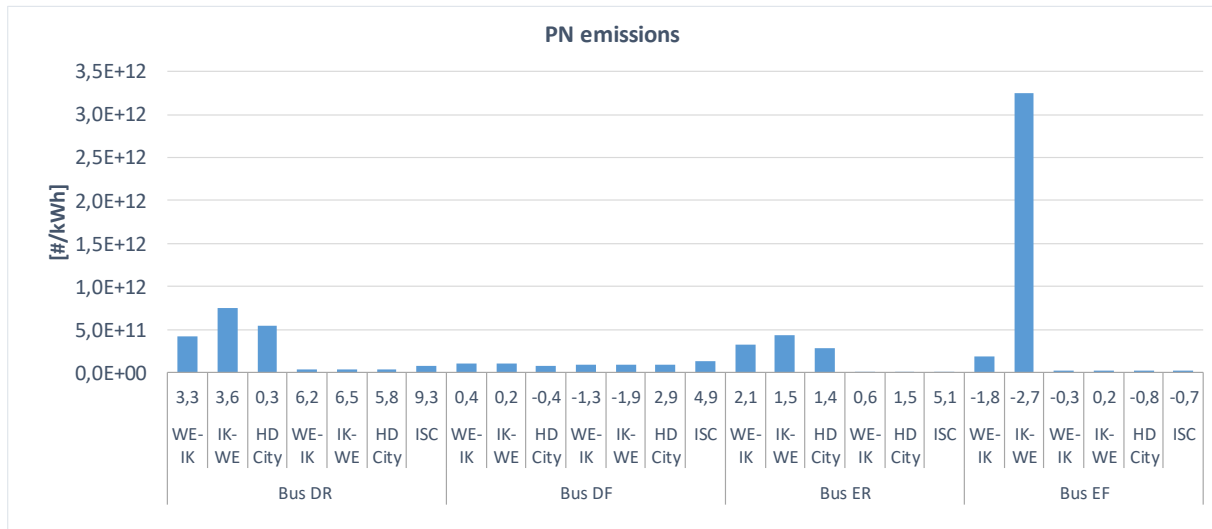
Kuva 5.18. PEMS-kokeissa tehtyt työmäärät laskettuna moottori kampiakselille.



Kuva 5.19. PEMS-mittausten NO_x-tulokset työmäärään suhteutettuna.



Kuva 5.20. PEMS-mittausten NO_x-tulokset ajomäärään suhteutettuna.



Kuva 5.21. PEMS-mittausten hiukkaslukumäärätulokset.

ISC-testauksessa kaasumaisille päästöille sovelletaan kerrointa 1,5 (Conformity Factor, CF) varsinaisiin raja-arvoihin verrattuna. Hiukkaslukumäärä tulee ISC-testauksen piiriin Euro VI E -vaiheen myötä vasta 2020/2021, ja tuolloin kerroin tulee olemaan 1,63⁵.

ISC-testin raja-arvo NO_x:ille on 0,46 * 1,5 = 0,69 g/kWh. Molemmat uusiutuvaa polttoainetta käyttävät autot alittavat tämän raja-arvon (DR 0,37 ja ER 0,49 g/kWh). Auto EF ylittää rajan hieman, ja auton DF NO_x-päästö on lähes kaksinkertainen ISC-rajaan verrattuna.

Kun tarkastellaan kaikkien testisykliä keskiarvoa EN590-polttoainetta käyttävien autojen NO_x-päästö on 25 - 95 % korkeampi uusiutuvaa polttoainetta käyttäviin autoihin verrattuna.

Euro VI raja-arvo hiukkaslukumäärälle on 6x10¹¹, ISC-arvo CF kertoimella 9,8x10¹¹. Yhtä mittausta lukuun ottamatta arvot jäivät alle tämän rajan. Bussin EF kohdalla tapahtui ilmeisesti hiukkassuodattimen regenerointi yhden mittauskerran yhteydessä.

Ensimmäisellä mittauskerralla molempien uusiutuvaa polttoainetta käyttävän auton hiukkaslukumäärä oli tasolla 5x10¹¹, mutta laski toisella mittauskerralla alle 1x10¹¹. EN590-polttoainetta käyttävät autot toimivat hiukkaslukumäärän osalta tasaisemmin, lukuun ottamatta yhtä edellä mainittua poikkeusta.

PEMS-tulokset viittaisivat siihen, että NO_x-päästöissä saavutettaisiin etua uusiutuvalla polttoaineella. Koska NO_x-päästö kuitenkin ensisijaisesti riippuu SCR-katalysaattorijärjestelmän toiminnasta eikä polttoaineesta, pitkälle meneviä johtopäätöksiä ei kuitenkaan tulisi tehdä.

Ensimmäisessä mittausjaksossa uusiutuvalla polttoaineella ajavat autot tuottivat suurempia hiukkasmääriä, mutta tilanne tasaantui toisen mittausjakson kohdalla. Niinpä polttoaineen vaikutuksesta hiukkaslukumääriin on vaikea tehdä yksiselitteisiä johtopäätöksiä. Tässä tapauksessa PEMS-laitteistolla ei mitattu hiukkasmassaa, koska hiukkasmassat olivat niin pieniä, että tulokset olisivat olleet epäluotettavia (kts. 5.1).

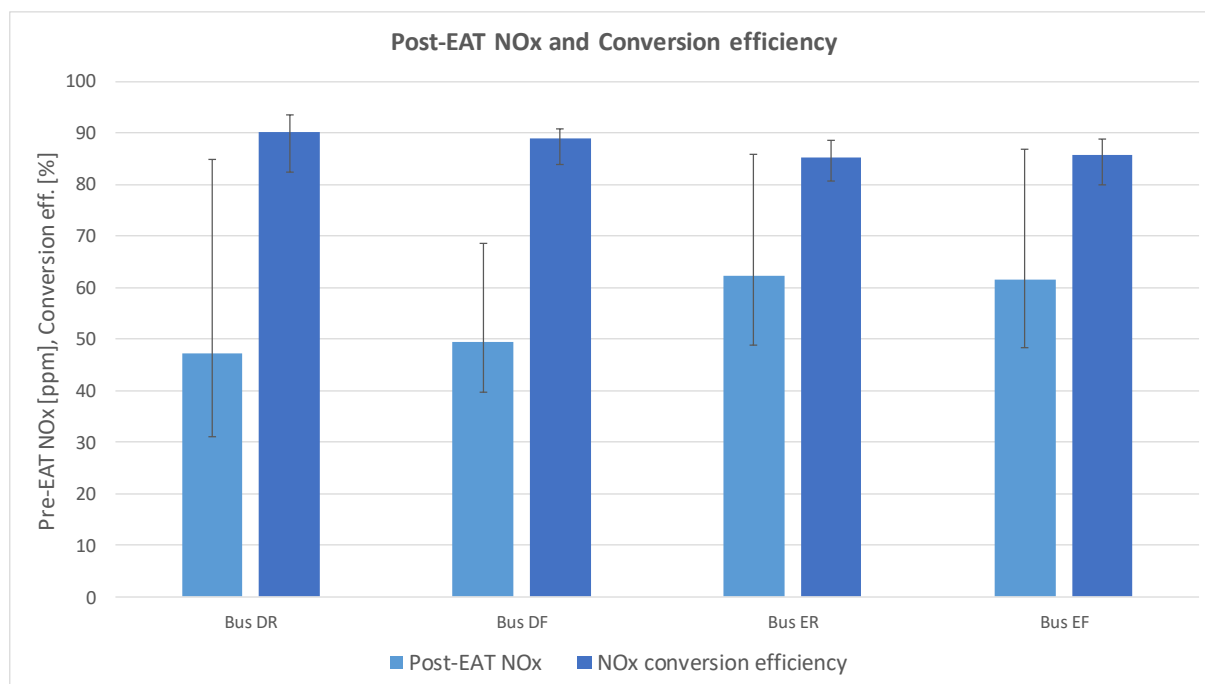
⁵ <https://dieselnet.com/standards/eu/hd.php>

5.3.4 Jatkuvatoiminen NO_x-seuranta

Edellä, kuvassa 5.3 oli esimerkki ennen ja jälkeen SCR-katalysaattoria mitatuista NO_x-pitoisuuksista.

Jatkuvatoiminen seuranta neljän auton osalta kattoi aikavälin maliskuu 2018 - tammikuu 2020. Jatkuvatoimiseen seurantaan otettiin mukaan ajosuoritteet joiden kesto oli yli 2 tuntia. Perusteluna valinnalle on se, että alle 2 tunnin ajosuoritteet koostuvat merkittävältä osin muista kuin normaalin liikennöinnin ajoista, kuten siirtely varikkoalueella, huolto yms. siirrot. Seurantajärjestelmän tallentama ajomäärä seurantajakson aikana vaihteli autosta riippuen 82.000 - 169.000 km välillä.

Kuvassa 5.22 on esitetty yhteenveto NO_x-seurannan tuloksista.



Kuva 5.22. Keskimääräinen NO_x-pitoisuus SCR-katalysaattorin jälkeen ja keskimääräinen reduktiotehokkuus.

SCR-katalysaattorien jälkeen mitatut keskimääräiset NO_x-pitoisuudet osoittavat, että uusiutuvaa polttoainetta käyttävät autot tuottavat keskimäärin hieman vähemmän NO_x-päästöjä kuin tavanomaista dieselpolttoainetta käyttävät autot, tosin ero uusiutuvan polttoaineen hyväksi oli selvempi PEMS-mittauksissa.

SCR-jälkikäsittelyn NO_x-muuntotehokkuuden osalta pelkällä SCR:llä NO_x-päästöjä vähentävä "D"-autotyyppi saavutti keskimäärin noin 90 % tehokkuuden ja EGR+SCR yhdistelmää käyttävä "E"-autotyyppin autot saavuttivat noin 85 % tehokkuuden.

Tässä mukana olevaa kahta eri autotyyppiä ei voi suoraan verrata keskenään pelkästään SCR-katalysaattorin jälkeen mitatun NO_x-päästön perusteella, koska autoissa on eri massa, iskutilavuudeltaan erilaiset moottorit ja lisäksi poikkeava NO_x-hallintatekniikka (pelkkä SCR vs. EGR + SCR), kaikki tekijöitä jotka vaikuttavat pakokaasujen massavirtaan. Varsinaisen päästö on pakokaasun massavirran ja pitoisuuden tulo.

Jatkuvatoimisessa mittauksessa haasteena on, että mittausdataa tulee myös epätyypillisistä ja poikkeavista ajotilanteista, jolloin näytteiden vertailtavuus kärsii. Lisäksi autot eivät ole ajaneet täysin identtisiä bussilinjoja, joka omalta osaltaan vaikuttaa moottorin käyttöprofiiliin ja sitä kautta päästöihin.

NO_x-pitoisuuden seuranta antaa tästä huolimatta hyvän lisätyökalun tarkastella polttoaineen vaikutusta moottorin ja SCR-järjestelmän käyttäytymiseen, koska menetelmä mahdollistaa pitkät seurantajaksot.

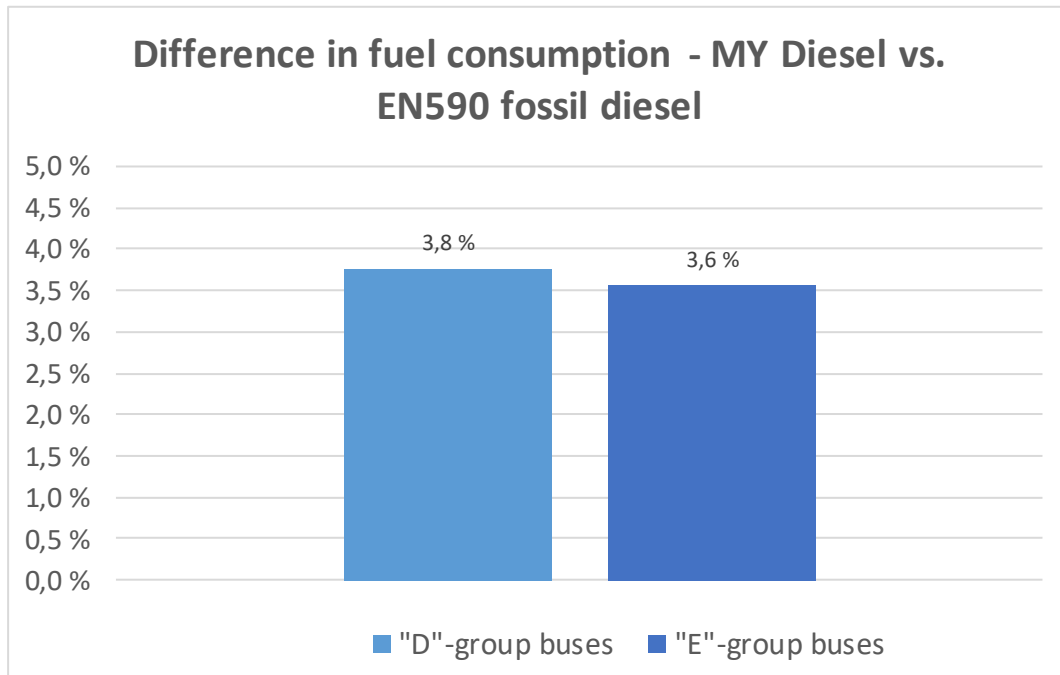
5.3.5 Polttoaineen kulutuksen seuranta

Polttoaineenkulutustiedot pohjautuvat Pohjolan Liikenteen omaan seurantajärjestelmään ja kattavat ajanjakson maaliskuu 2018 - marraskuu 2019. Kilometrikertymä seurantajaksolla vaihteli autosta riippuen 81.000 km - 160.000 km välillä.

Polttoaineen kulutuksen seuranta järjestettiin molempien autotyyppien "E" ja "D" edustajille, joita kumpaakin oli viisi autoa, alun perin kaksi kauppalaatuista EN590 polttoainetta käyttävää autoa ja kolme uusiutuvaa Neste MY Dieseliä käyttävää autoa kussakin ryhmässä.

"D" autotyyppin yksi uusiutuvaa dieselpolttoainetta käyttävä auto siirrettiin kesken hankkeen käyttämään EN590 polttoainetta. Vastaavasti yksi "D" autotyyppin EN590-polttoainetta käyttävä auto siirrettiin käyttämään uusiutuvaa dieselpolttoainetta. Käytetty tilastointijärjestelmä ei erotellut "kesälaadun" dieseliä "talvilaadun" dieselistä, jolloin kauppalaatuisen EN590 dieselpolttoaineen osalta kulutettu kokonaismäärä sisältää molempien laatujen kulutusmäärän. Tällä on vaikutus tuloksiin, kuten alustadynamometrissa tehtyjen mittausten tuloksista huomataan (kts. 4.2 ja 5.2). Käytännön ajosuoritteisiin vaikuttaa aina myös ajoreitti sekä kuljettaja. EN590 dieseliä käyttäneet autot liikennöivät pääosin Espoon alueella ja uusiutuvaa Neste MY dieseliä käyttäneet autot pääosin Helsingin alueella.

Kuvassa 5.23 on esitetty suhteellinen ero Neste MY ja kauppalaatuisen EN590 dieselin välillä molemmille autotyypeille "D" ja "E". Autotyyppin "D" osalta Neste MY dieseliä kului keskimäärin noin 3,8 % ja autotyyppin "E" osalta noin 3,6 % enemmän kilometriä kohden kuin EN590 dieseliä. Volumetrinen kulutuksen kasvu on samaa suuruusluokkaa Euro VI -moottoritekniologiasta riippumatta ("SCR-only" vs. "EGR+SCR"). Saatu tulos on varsin looginen. Kulutuslisä on pienempi kuin kesälaatuisen EN590-polttoaineen ja MY Dieselin volumetrinen lämpöarvojen ero (noin 5,4 %), koska liikennöinnissä on käytetty myös talvilaatuista EN590-polttoainetta. Tulos on myös hyvin linjassa kappaleissa 4.2 ja 5.2 kuvattujen tulosten kanssa.



Kuva 5.23. Kenttäseuranta-autojen polttoaineenkulutuksen ero uusiutuva Neste MY vs. EN590-polttoaine (jako kesä- ja talvilaatuiseen EN590-polttoaineen välillä ei ole tiedossa).

5.3.6 Vika- ja huoltodata

Polttoaineen kulutuksen seurannassa oleville ajoneuvoille suoritettiin kirjanpito ajoneuvojen ylläpidosta vastaavien tahojen kirjaamista huolto- ja korjaustoimenpiteistä. Seurannan tarkoituksena oli tutkia, mikäli käytettävällä polttoainetyypillä olisi merkittävää yhteyttä ajoneuvon vikaherkkyyteen. Seurannassa olevien ajoneuvojen kilometrikertymät vaihtelivat seurantajakson aikana (helmikuu 2018 - joulukuu 2019) välillä 80.000 - 160.000 km. Kaikkien seurannassa olevien ajoneuvojen huolto-ohjelmat noudattivat valmistajien määrittelemiä 40.000 km:n huoltovälejä. Tyypilliseen määräaikaishuoltoon kuuluu polttoaine- ja öljynsuodattimen, moottorin voiteluöljyn sekä vedenerottimen vaihtotyö. Ajoneuvoryhmien huolto-ohjelmien merkittävimmät erot liittyivät hiukkassuodattimien viitteelliseen vaihtoväliin, ryhmän D:n noudattaessa 240.000 km:n ja ajoneuvoryhmä E:n 80.000 km:n vaihtosykliä.

Ajoneuvojen vika- ja huoltokirjanpidosta ilmenee pääsääntöisesti kullekin ajoneuvotyyppille tyypillisesti toistuvasti ilmeneviä vikatiljoja. Ajoneuvoryhmän D tavanomaisimmat viat liittyvät polttoainetukin paineanturin vioittumiseen, johtuen moottorin voiteluaineen vuotamisesta liittimen päälle. Lisäksi ajoneuvoryhmän D käyttämällä moottorityypillä vaikutti olevan taipumusta aiheuttaa hiukkassuodattimen poikkeuksellisen suurta nokikuormaa, mikä johtaa jälkikäsitteilyjärjestelmän paine-erohälytykseen. Tyypillisesti kaupunkiolosuhteissa operoiva ajoneuvo ei ole kykenevä vallitsevilla kuormitustasoilla regeneroimaan hiukkassuodatinta omatoimisesti. Kyseisiä paine-erohälytyksiä ilmeni tässä tapauksessa useimmiten uusiutuvaa polttoainetta käyttävien ajoneuvojen kohdalla. Ajoneuvoryhmää edustavan huoltohenkilökunnan haastatteluiden perusteella voidaan kuitenkin todeta kyseisten ilmiön olevan kyseisessä ajoneuvotyyppissä yhtä yleisiä fossiilista käyttävien ajoneuvojen kanssa.

Ajoneuvoryhmän E tyypillisimmät viat puolestaan kohdentuivat jälkikäsitteilyjärjestelmän urearuiskutukseen ja siihen liittyviin annostelujärjestelmän ongelmiin. Yleisimmin AdBlue-järjestelmän suutin tukkiutui aiheuttaen kiteytymistä pumppuysikössä ja annostelujärjestelmässä. Edellä kuvattua ongelmaa ilmeni tässäkin tapauksessa yhtä todennäköisesti uusiutuvalla että fossiilisella polttoaineella käytävillä ajoneuvoilla, eikä ilmiötä voida liittää käytettyyn polttoainelaatuun.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, ettei huoltodatan perusteella voida osoittaa polttoaineella olevan merkittävää vaikutusta huoltotarpeeseen tai vikaantumiseen.

5.3.7 Hiukkassuodattimien tutkimus

Euro VI- päästötason raskaat ajoneuvot on varustettu varsinaisilla hiukkassuodattimilla (DPF). Hiukkassuodattimen tukkeutuminen ajon aikana noesta ja tuhkaista kasvattaa moottorin kokemaa pakokaasun vastapainetta, joka vaikuttaa polttoaineen kulutukseen sitä nostavasti. DPF:ään kertyvä noki on peräisin käytetyn polttoaineen palamisesta, polttoaineen hiilestä. Suodattimeen kertyvä tuhka voi olla peräisin kolmesta lähteestä: 1) moottorin metalliosien kulumisesta, 2) moottoriöljystä ja 3) polttoaineesta. Moottorin kuluvien metalliosien kulumiseen ei voi käytännössä vaikuttaa polttoaineella. Euro VI- raskaiden ajoneuvojen moottorit puhdistavat DPF:n noesta aika-ajoin joko aktiivisesti pakokaasujen lämpötilaa nostamalla tai passiivisesti jatkuvasti käytön aikana tai näiden yhdistelmällä.

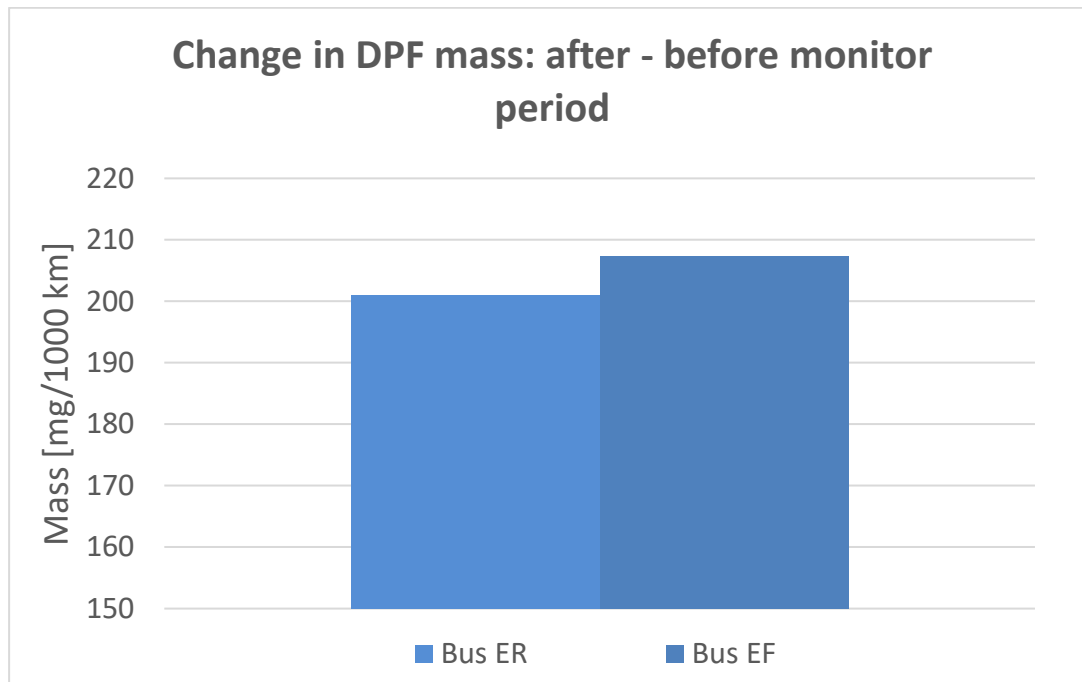
Koska uusiutuva dieselpolttoaine on tuhkatonta, polttoaineesta ei kerry tuhkaa hiukkassuodattimiin, jolloin teoriassa hiukkassuodattimien tuhkan kertyminen olisi vähäisempää kuin perinteistä dieselpolttoainetta käytettäessä. Hankkeen aikaisen hiukkassuodattimien tutkimuksen tavoitteena olikin juuri selvittää saadaanko seuranta-autojen hiukkassuodattimissa näkyviin uusiutuvan dieselin tuhkattomuus.

Hiukkassuodattimien tuhkan kertymisen seuranta järjestettiin autotyypin "E" autoille "ER" joka käytti siis uusiutuvaa dieseliä sekä "EF" joka käytti EN590-dieseliä. Molempiin autoihin asennettiin uudet DPF:t autojen normaalin huoltokäynnin yhteydessä ja ne punnittiin asentamista ennen VTT:n laboratoriossa. Seuraavan huoltokäynnin yhteydessä DPF:t irrotettiin ja punnittiin jälleen. Ennen käytön jälkeistä irrotusta autoille suoritettiin valmistajan huoltohenkilöiden toimesta pakotettu DPF:n regenerointi kertyneen noen polttamiseksi.

Kuten kappaleen 5 alussa todettiin, tiedettiin jo etukäteen autojen öljynkulutuksen seuranta haastavaksi. Hankkeen alussa öljynkulutuksen seuranta osoittautuikin käytännössä mahdottomaksi järjestää, sillä autoihin lisätään normaalin huoltovälin aikana öljyä huoltoyhtiön toimesta ilman tarkempaa tilastointia. Lisäksi varsinaisten huoltokäyntien aikana moottoriöljyä lisätään pumpuilla, joilla tarkkaa lisättyä määrää ei voinut raportoida. Koska moottoriöljy on yksi merkittävä tuhkan lähde, aiheuttaa epä tietoisuus öljynkulutuksesta merkittävän virhelähteen tuhkan kertymisen arvioinnille. EN590 standardi sallii polttoaineelle tuhkapitoisuuden aina 0,01 massa-% asti. Suomessa myytävät EN590-standardin mukaiset dieselpolttoaineet saattavat sisältää kuitenkin merkittävästi vähemmän tuhkaa, jolloin polttoaineperäisen tuhkan määrällä on vähäisempi vaikutus ja moottoriöljystä peräisin olevalla tuhalla on vieläkin merkittävämpi osuus suodattimeen kertyneeseen tuhkan määrään.

Kuvassa 5.24 on esitetty ero kertyneessä tuhassa molemmille autoille ajomäärään suhteutettuna yksikössä mg/1000 km. Uusiutuvaa dieseliä käyttävälle autolle "ER" DPF:n massa kasvoi seurantajakson aikana noin 201 mg/1000 km ja EN590-dieseliä käyttävälle autolle "EF" noin 207 mg/1000 km. Mikäli voimme olettaa autojen "ER" ja "EF" öljyn kulutuksen yhtä suureksi tarkoittaisi tulos sitä, että tyypillistä HSL:n bussiliikenteen vuotuista ajosuoritetta 80.000 - 100.000 km kohden kertyisi uusiutuvaa dieseliä käyttämällä tuhkaa vuodessa DPF:ään 0,5 g - 0,6 g vähemmän.

Saadun tuloksen perusteella autojen "E" osalta ei voida aukottomasti päätellä uusiutuvan dieselin vaikutuksesta tuhkan kertymiseen DPF:ään. Tässä voidaan kuitenkin todeta vastavasti kuin pakokaasupäästöjen osalta: uusiutuvaa polttoainetta käyttävä auto ei ainakaan ole huonompi kuin tavanomaista dieselpolttoainetta käyttänyt verrokki.



Kuva 5.24. Ero kertyneessä tuhkan määrässä ajomäärään suhteutettuna ennen ja jälkeen seurantajakson.

5.3.8 Yhteenveto

Pohjolan Kaupunkiliikenteen 10:lla Euro VI- bussilla toteutettiin vajaa kaksi vuotta kestänyt kenttäkoe. Seurattavilla autoilla ajettiin tuona aikana 80.000 - 168.000 km. Autot, jotka edustivat kahta merkkiä ja samalla kahta pakokaasun puhdistustekniikkaa (pelkää SCR ja EGR + SCR), jaettiin kummankin merkin osalta kahteen ryhmään, uusiutuvaa Neste MY dieselä ja kauppalatuista EN590-polttoainetta käyttäviin autoihin.

Neljä autoa oli tarkemmassa seurannassa (kaksi kumpaakin merkkiä, ja kummastakin merkistä yksi Neste MY -polttoainetta ja yksi EN590-polttoainetta käyttävä auto). Näille autoille tehtiin mittauksia alustadynamometrissa, PEMS-mittauksia tien päällä, ja lisäksi autot varustettiin jatkuvatoimisella NO_x-seurantajärjestelmällä.

Tulosten tulokinnassa on huomioitava, että vertailuparit (EN590 ja uusiutuvaa Neste MY -polttoainetta käyttäneet ajoneuvot) eivät autojen ”kotipaikoista” johtuen ajaneet samoja reittejä, mikä vaikuttaa keskimääräiseen moottorin kuormitustasoon. Tällä on jonkin suuruinen vaikutus esimerkiksi polttoaineenkulutukseen ja tuhkan kertymiseen hiukkassuodattimessa. Kaikki ajoneuvot operoivat kuitenkin normaalissa pääkaupunkiseudun joukkoliikenteessä ja edustavat siten tyypillistä kaupunkijoukkoliikenteen ajosuoritetta.

Alustadynamometritulosten perusteella voidaan todeta, autojen lähtötilanne huomioiden, ettei kumpikaan uusiutuvaa polttoainetta käyttänyt auto suoriutunut ainakaan huonommin kuin EN590 polttoainetta käyttänyt vertailuparinsa. Tämä pätee polttoaineen kulutukseen, NO_x-päästöihin ja hiukkaspäästöihin. Tässä on huomattava, että kaikki alustadynamometrimittaukset, myös niiden autojen osalta jotka kenttäkokeessa käyttivät uusiutuvaa polttoainetta, tehtiin EN590-polttoaineella, joten edellä oleva toteamus koskee autojen muuttumista ajomatkan kertyessä.

PEMS-mittaukset, jotka tehtiin sillä polttoaineella, jota kukin auto normaalisti käytti (2 autoa uusiutuvalla dieselillä, kaksi EN590-polttoaineella) antoivat viitteitä siitä, että NO_x-päästöissä saavutettaisiin etua uusiutuvalla polttoaineella. Samaan suuntaan viittasi jatkuvatoiminen

NO_x-mittaus. Kovin pitkälle meneviä johtopäätöksiä ei kuitenkaan ole syytä tehdä, koska NO_x-päästö riippuu ensisijaisesti pakokaasupuhdistusjärjestelmän (SCR-katalysaattorin) toiminnasta.

Useimmissa tapauksissa polttoaineen suora vaikutus päästöihin hukkuu Euro VI -tasoissa autoissa autojen toiminnan vaihtelujen alle (lähinnä SCR-katalysaattorista ja DPF-hiukkas-suodattimesta johtuen).

Normaalialajosta 10 autolla tehdystä polttoaineenkulutusvertailusta saatiin varsin looginen tulos, alhaisen tiheyden omaava uusiutuva diesel lisäsi tilavuuspohjaista polttoaineen kulutusta n. 3,5 % EN590-polttoaineeseen verrattuna (EN590-vertailuarvossa mukana sekä kesä- että talvilaatuista polttoainetta).

Kappaleessa 5.3.6. esitetyn vika- ja huoltokirjanpitoselvityksen perusteella uusiutuvan diesel-polttoaineen ei voida todeta vaikuttavan myönteisesti tai kielteisesti sitä käyttävän ajoneuvon vikaherkkyyteen fossiilista polttoainetta käyttävään ajoneuvoon verrattuna. Kyseessä olevan hankkeen aikana yhtäkään suoraan polttoainejärjestelmään liittyvää vikaa ei raportoitu ajoneuvomallista tai käytetystä polttoainelaadusta riippumatta. Lisäksi ajoneuvon jälkikäsitteilyjärjestelmissä ilmenneet hiukkasloukun tukkeutumiseen tai ureajärjestelmän vioittumiseen liittyvät ongelmat vaikuttavat johtuvan ennemminkin ajoneuvojen käyttöolosuhteista aiheutuneista ominaisuuksista kuin käytettävästä polttoaineesta.

Hiukkassuodattimien tutkimuksessa nähtiin, että suodattimeen kerääntyneen tuhkan määrä oli aavistuksen verran pienempi uusiutuvalla polttoaineella EN590-polttoaineeseen verrattuna. Koska autojen öljynkulutusta oli mahdotonta seurata ja verrata tarkkaan, tulos on luonteeltaan suuntaa antava.

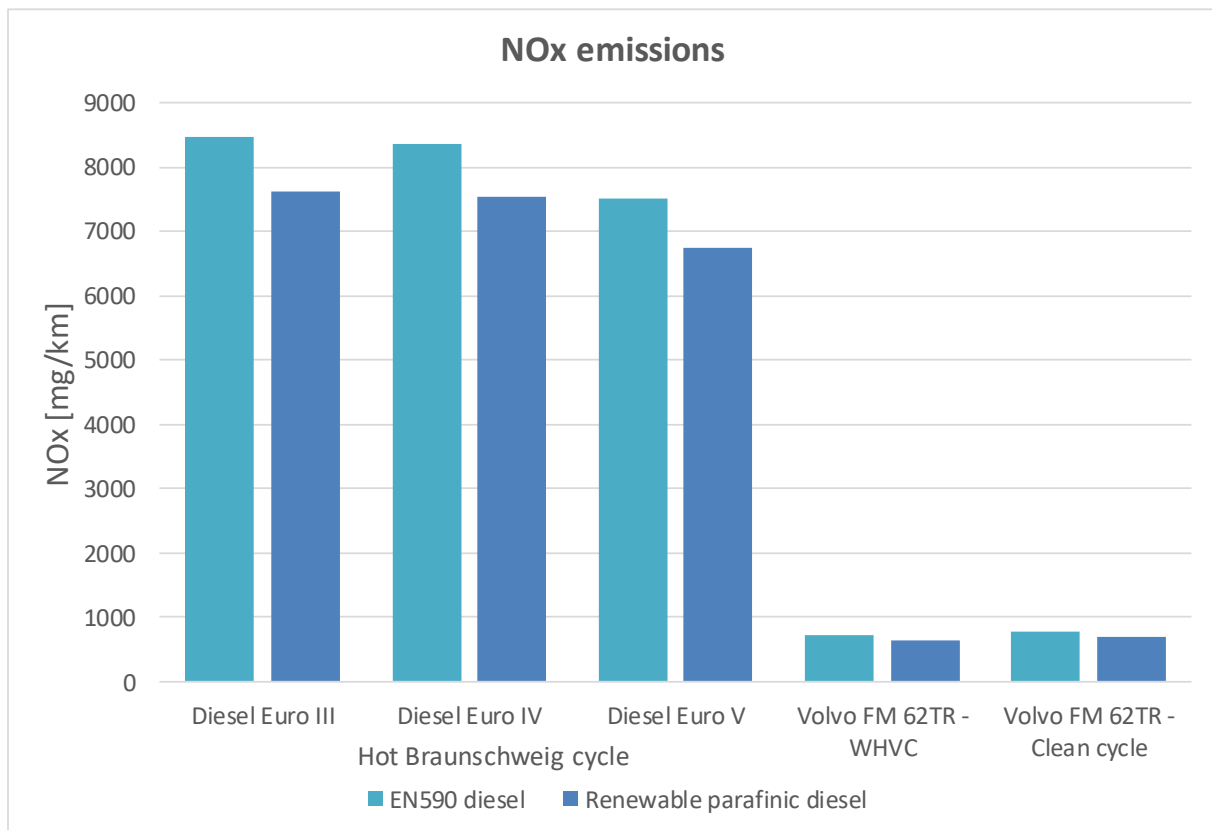
5.4 Kokeet Vantaan kaupungin kadunlakaisuautolla

Vantaan kaupungin kadunlakaisuautolla suoritettiin mittaukset joiden tarkoituksena oli simuloida tyypillistä kadunlakaisutyötehtävää alustadynamometrillä. Mittausta varten tallennettiin kadunlakaisuauton tyypillisen kadunlakaisutyötehtävän aikaisia ajoneuvon tietoja kuten nopeus ja moottorin kuorma joiden perusteella muodostettiin alustadynamometrille testisykli. Alustadynamometrillä käytetty sykli ei kuitenkaan ole yksi yhteen nauhoitettu sykli. Kadunlakaisuauton ajonopeus on alhainen, ja apulaiteteho kohtuullisen suuri, aiheuttaen haasteita alustadynamometrimittaukseen. Niinpä sykliä modifioitiin ajonopeuksia nostamalla, kuitenkin säilyttäen edustava tehotaso.

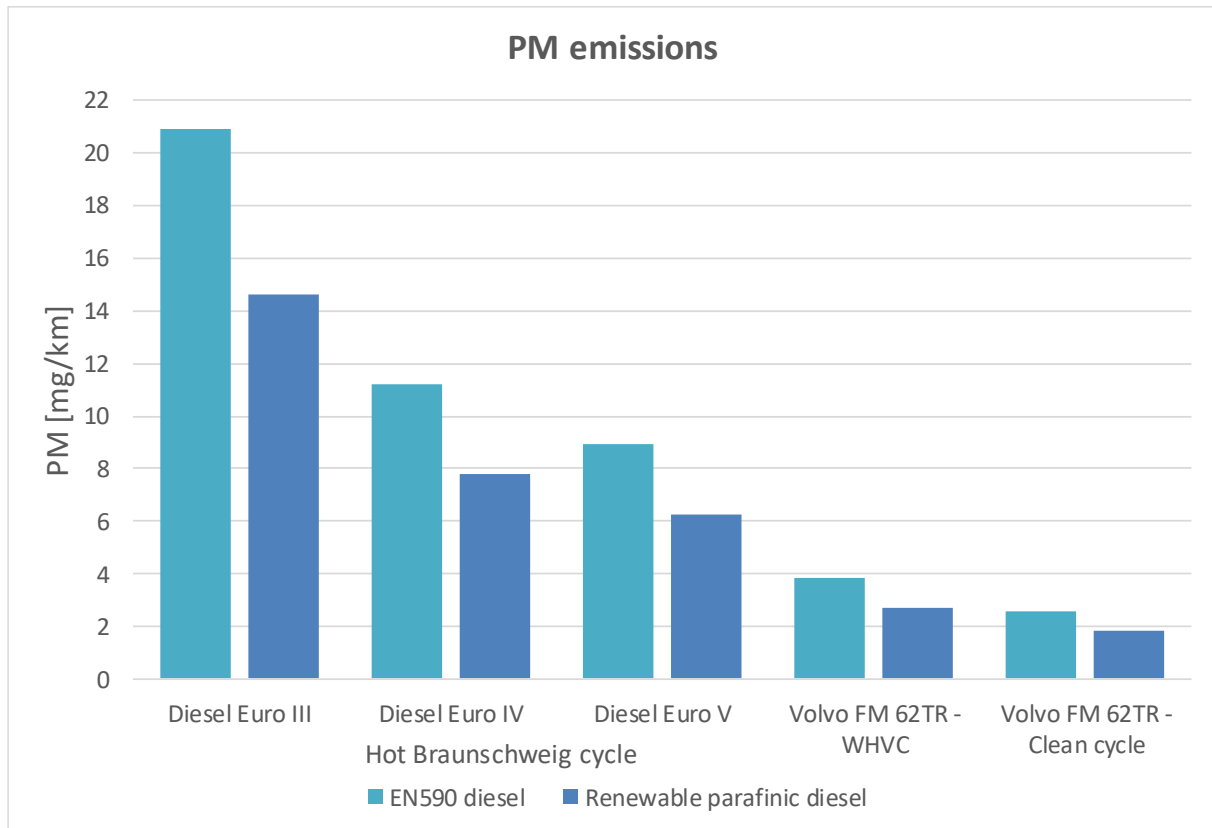
Mittaukset tehtiin Euro VI-tasoisella Volvo FM 62TR -autolla. Mittauksissa simuloitiin puolta kuormaa. Alustadynamometrissa ajettiin sekä nauhoitettu kadunlakaisusykli että WHVC-sykli. Kadunlakaisusyklin pituus oli 15,7 km, kesto aika 1220 s, keskinopeus 46 km/h ja energian kulutus 14,3 MJ/km. Vastaavat arvot WHVC syklille olivat 20 km, 1800 s, 40 km ja 13,7 MJ/km. Sykliä keskeiset parametrit, keskinopeus ja energian kulutus per kilometri ovat siis kohtuullisen lähellä toisiaan. Mittaukset tehtiin EN590-polttoaineella.

Euro VI bussimittausten perusteella tiedetään, että polttoaineesta aiheutuvat absoluuttiset erot säännellyissä päästöissä ovat Euro VI -autoissa hyvin pienet. Koska kaupunkien käytössä on myös vanhempaa dieselkalustoa, päätettiin laskennallisesti arvioida uusiutuvan dieselin päästövaikutuksia eri päästöluokissa. Tulokset lukittiin mitattuun Euro VI -autoon, ja tulokset vanhemmille päästöluokille (Euro III, IV ja V) skaalattiin VTT:n bussitietokannan kesimääräisten päästökertoimien avulla³. Uusiutuvan diesel-polttoaineen oletettiin kaikissa autotyypeissä vähentävän NO_x-päästöä 10 % ja hiukkaspäästöä 30 %. Luvut vastaavat "Optibio"-hankkeessa keskimäärin Euro II - EEV -luokille saatuja päästövähennyksiä¹.

Simuloinnin tulokset on esitetty kuvissa 5.25 (NO_x) ja 5.26 (PM). Tulokset Volvo FM 62 TR -autolle EN590-polttoaineella ovat todellisia mitattuja tuloksia, muut tulokset ovat simuloituja tuloksia. Kuvat osoittavat, että Euro VI -autot ovat huomattavan vähäpäästöisiä Euro III -tasoon verrattuna. Hiukkaspäästöt ovat vähentyneet tasaisesti Euro-luokkien myötä, kun taas NO_x:in osalta merkittävä tason pudotus tuli vasta Euro VI -määräysten myötä. Kuvista nähdään myös, että uusiutuvalla polttoaineella saavutettavat absoluuttiset päästövähennykset pienenevät moottori- ja puhdistintekniikan kehittyessä.



Kuva 5.25. NO_x-päästöt fossiilisella EN590 dieselillä sekä laskennallinen päästöhyöty parafinilla uusiutuvalla dieselillä.



Kuva 5.26. PM-päästöt fossiilisella EN590 dieselillä sekä laskennallinen päästöhyöty parafinilla uusiutuvalla dieselillä.

5.5 Euro VI etanolikuorma-auton mittaus

Scania on 80-luvun lopulta lähtien valmistanut etanolimoottoreita⁶. Koska etanoli sellaisenaan ei syty normaalissa dieselmootorissa, konsepti perustuu sekä polttoaineen että itse moottorin muokkaamiseen. Polttoaineeseen lisätään syttyvyydenparantaja-lisäainetta syttymisen helpottamiseksi ja voiteluainetta ruiskutusjärjestelmän suojelemiseksi. Moottorin normaalia korkeampi puristussuhde auttaa omalta osaltaan polttoaineen syttymistä. Lisäksi ruiskutusjärjestelmät tuottoa on lisätty ja polttoainejärjestelmään vaihdettu etanolia kestäviä materiaaleja. Scanian ”perinteiset” etanolimoottorit olivat iskutilavuudeltaan 9-litraisia, ja niissä käytettiin pumppusuutin-tyyppisiä ruiskutusjärjestelmiä.

Loppuvuodesta 2018 Scania toi markkinoille uuden, 13-litraisen common-rail -ruiskutusjärjestelmällä varustetun uuden etanolimoottorin. Tähän moottorin tehotaso on yli 400 hv, ja se on tarkoitettu ajoneuvoyhdistelmien vetoautoihin⁷. Koska suurin piirtein samaan aikaan markkinoille on tullut myös saman teholuokan uusia kaasumoottoreita, on mielenkiintoista verrata eri teknologioita (diesel, etanoli, metaani) toisiinsa.

Euro VI etanolikuorma-auton mittaus suoritettiin osana IEA AMF TCP (International Energy Agency Technology Collaboration Platform for Advanced Motor Fuels) Suomen osaprojektia ”HDV Performance Evaluation”⁸. Hankkeessa VTT toimii koordinaattorina ja projektiosapuolia ovat Traficom, Gasum, Neste, Posti, Proventia sekä St1. Etanolikuorma-auton mittauksen kustannukset jaettiin BioSata-hankkeen sekä IEA AMF Suomen projektin kesken. Tämän

⁶ <https://www.scania.com/group/en/the-story-of-scania-and-ethanol/>

⁷ <https://www.scania.com/group/en/first-scania-bioethanol-truck-hits-the-road/>

⁸ https://www.iea-amf.org/content/projects/map_projects/57

johdosta "HDV Performance Evaluation" -projektin tuottamista kuorma-autojen mittaustuloksista osaa voitiin IEA-hankkeen Suomen osaprojektin ohjausryhmän suostumuksella hyödyntää myös BioSata-hankkeen raportoinnissa.

Tässä raportissa on esitetty tulokset kolmesta autosta:

- "Truck A": paineistettua maakaasua CNG:tä käyttävä 13-litraisella kipinäsytytteisellä moottorilla varustettu Euro VI-step C kuorma-auto. Pakokaasujen jälkikäsittelyjärjestelmänä kolmitiekatalysaattori. Polttoaineena testeissä käytettiin suomalaisen maakaasuverkon paineistettua metaania
- "Truck C": Dieselkäyttöinen 13-litraisella moottorilla varustettu Euro VI-step D kuorma-auto. Pakokaasujen jälkikäsittelyjärjestelmänä DOC+DPF+SCR+ASC. Polttoaineena testeissä käytettiin VTT:n EN590 standardin mittadieseliä sekä Neste MY dieseliä.
- "Truck E": ED95 polttoaineella toimiva 13-litraisella dieselsyklin moottorilla varustettu Euro VI-step C kuorma-auto. Pakokaasujen jälkikäsittelyjärjestelmänä DOC+DPF+SCR+ASC. Polttoaineena testeissä käytettiin ED95 polttoainetta.
 - Kyseessä on siis Scania, ainoa tarjolla oleva 13-litrainen etanolimoottori.

Autot "A" ja "C" ovat 4 x 2 tyypin puoliperävaunuvetureita ja auto "E" tyypin 6 x 2 kiinteärakenteinen kuorma-auto. Autot on varustettu robottivaihteistoilla.

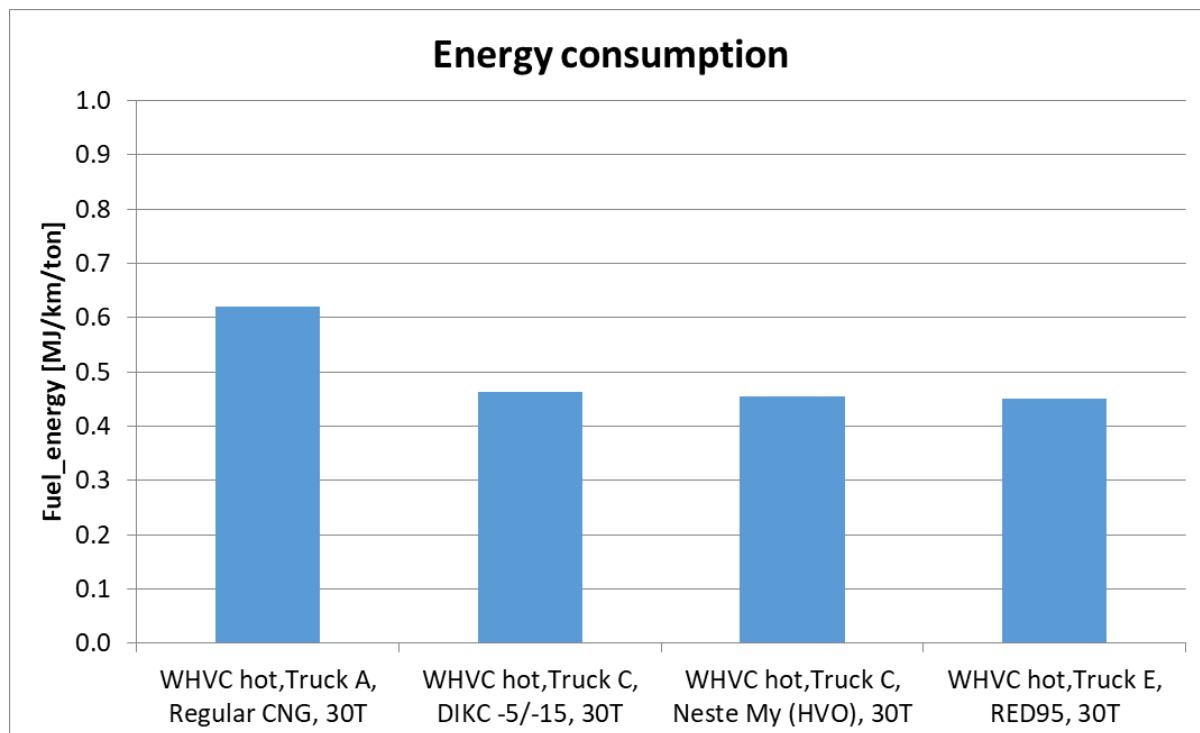
Tässä esitetyt tulokset ovat kuumakäynnisteiseltä WHVC sykliltä joka ajettiin kaikilla autoilla 30.000 kg kokonaismassaa vastaavalla testi-inertialla. Tavoitteena oli simuloida noin puolta suurimmasta sallitusta tyypillisestä eurooppalaisesta kokonaismassasta (noin 44 tonnia).

Tuloksina on esitetty energiankulutus ja NO_x- sekä PM-päästöt. Kuvassa 5.27 on esitetty energiankulutus tonnikipometriä kohden yksikössä MJ/km/1000kg. Kuvassa 5.28 NO_x-päästöt ja kuvassa 5.29 PM-päästöt ajoneuvojen dynamometrillä tehtyyn työmäärään suhteutettuna yksikössä mg/kWh. Itse moottorin tekemä työmäärä on suurempi, koska vetäviltä pyöriltä mitatun nettotyömäärän lisäksi moottori joutuu kompensoimaan apulaite- ja voimasiirtohäviöt. Jos tulokset suhteutettaisiin moottorin kampiakselilla tehtyyn työhön, luvut olisivat suuruusluokkaisesti 30 % alhaisemmat.

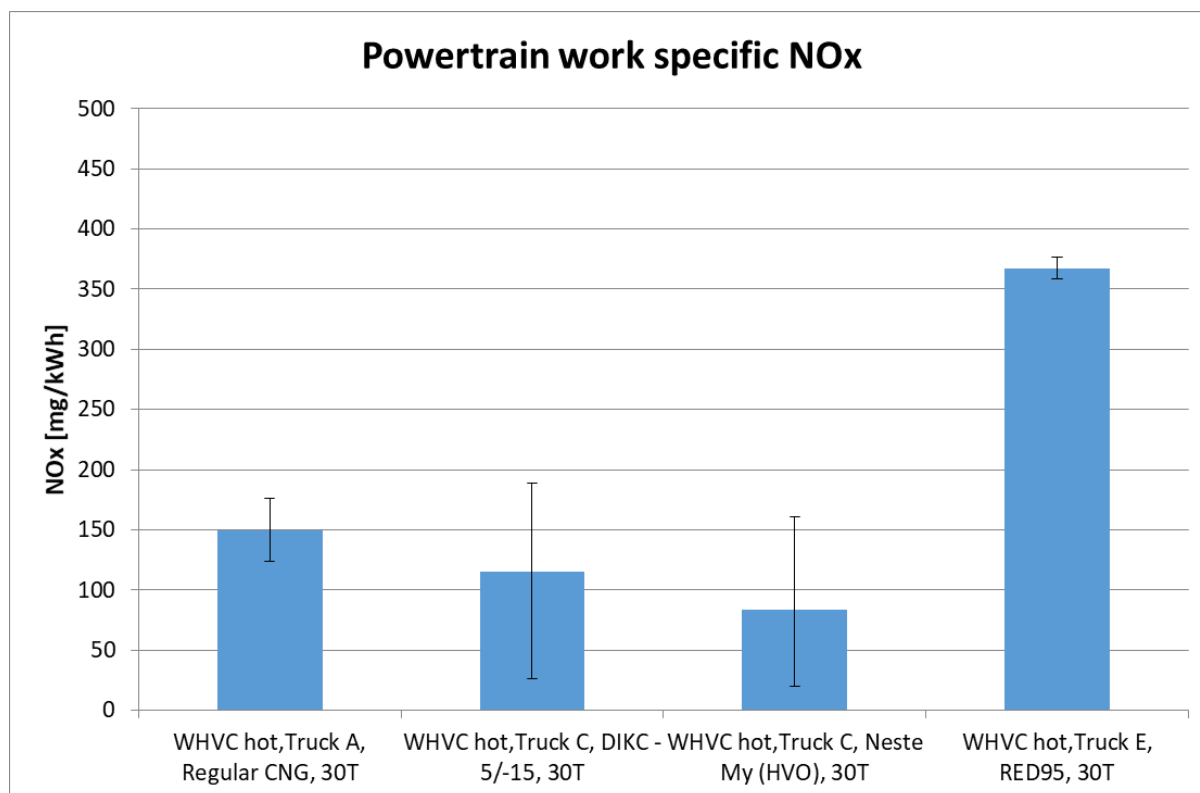
Kuvasta 5.27 nähdään, että etanolimoottori on yhtä energiatehokas kuin dieselmoottori. Kaasumoottorin energiankulutus on WHVC-syklissä noin 30 % korkeampi diesel- ja etanolimoottoreihin verrattuna. Tässä on huomioitava, että WHVC-syklin keskimääräinen kuormitusaste on matalahko, ja tämä vaikuttaa kipinäsytysmoottorin suhteellista kulutusta lisäävästi. Tasaisella korkealla nopeudella ja suurella kuormalla (tyypillinen "rekka-ajo") erot tasaantuisivat.

Etanolimoottori tuottaa korkeimmat NO_x-päästöt, mutta tulos on silti alle varsinaisen Euro VI -sertifiointirajan. Hiukkasmassan osalta kaasumoottori tuottaa saman tasoiset päästöt kuin dieselauto, vaikka kaasumoottoreissa ei käytetä dieselmoottoreiden tapaan hiukkassuodattainta. Vastaava ilmiö on havaittu bussimittauksissa.

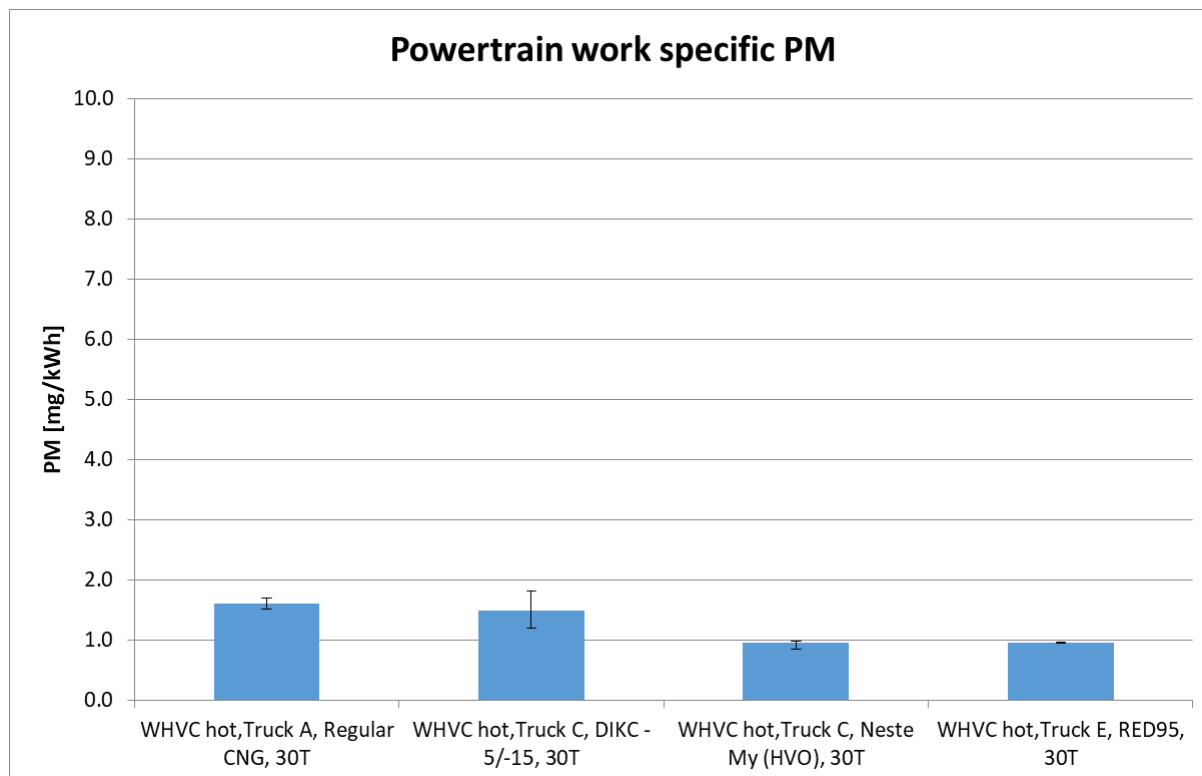
Dieselautossa Neste MY alensi selvästi sekä NO_x- että PM -päästöjä, molempia luokkaa 30 %. Tuloksissa oli merkittävää hajontaa ja NO_x-päästöjen osalta keskimääräinen alenema jäikin tulosten vaihteluvälin sisälle. Bussimittauksissa ei yleensä ole havaittu näin selkeitä ja johdonmukaisia eroja.



Kuva 5.27. Energiankulutus tonnikilometriä kohden kuuma käynnisteisellä WHVC-syklillä.



Kuva 5.28. NO_x-päästöt ajoneuvon voimalinjan tekemään työmäärään suhteutettuna kuuma käynnisteisellä WHVC-syklillä. Raja-arvo Euro VI moottoreiden tyyppihyväksyntäsyklillä WHTC:ssä on 460 mg/kWh.



Kuva 5.29. PM-päästöt ajoneuvon voimalinjan tekemään työmäärään suhteutettuna kuuma käynnisteisellä WHVC-syklillä. Raja-arvo Euro VI moottoreiden tyyppihyväksyntäsyklillä WHTC:ssä on 10 mg/kWh.

6. Kokeet työkoneilla (toteutusvaihe)

6.1 Yleistä

Perinteisesti työkoneita koskeva pakokaasulainsäädäntö on laahannut perässä verrattuna maantieliikenteen ajoneuvokalustoon. Työkoneiden Stage V pakokaasumääräykset, jotka ankaruudeltaan vastaavat likimain raskaiden tieliikenneajoneuvojen Euro VI määräyksiä, tulivat voimaan vuonna 2019, kuusi vuotta myöhemmin kuin Euro VI maantieliikenteessä⁹. Työkonepuolella moottorinvalmistajilla on lisäksi ollut mahdollisuus tietyissä rajoissa tehdä vanhempien päästömääräysten mukaisia moottoreita varastoon.

Koska työkoneiden käyttöikä lisäksi on varsin pitkä, käytössä on vieläkin paljon dieselyökoneita, joissa ei ole minkäänlaista pakokaasujen jälkikäsittelyä. Aikaisemmat kokeet niin autokalustolla kuin työkone moottoreilla ovat osoittaneet, että parafiinisella polttoaineella yksinkertaisella päästönhallinnalla varustettujen moottoreiden NO_x-päästöjä voidaan leikata suuruusluokkaisesti 10 % ja PM-päästöjä suuruusluokkaisesti 30 %^{1,10}.

Niinpä uusiutuva dieselpolttoaine on varteenotettava vaihtoehto työkoneisiin niin CO₂- kuin säänneltyjen päästöjen vähentämiseen. Esim. merkittävä osa Staran työkoneista (mm. kadunhoitokoneet) toimivat ihmisten joukossa, jolloin hyvälaatuisen biopolttoaineen lähipäästöjä alentavat ja myös työhygieniää parantavat vaikutukset korostuvat.

⁹ <https://dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php>

¹⁰ https://www.iea-amf.org/app/webroot/files/file/Annex%20Reports/AMF_Annex_50.pdf

Työkoneet ovat relevantti kohde myös Smart & Clean -säätien kannalta, sillä säätio on tehnyt työtä ilmastoratkaisujen kehittämiseksi ja käyttöönottamiseksi niin satamiin kuin lentokentillekin¹¹.

6.2 Staran Wille työkoneet

6.2.1 Yleistä

Staran kalustolle oli suunniteltu tehtäväksi PEMS-mittauksia, ja lisäksi kenttäkokeella oli tarkoitus seurata koneiden toimintaa. Kenttäkoe ei kuitenkaan toteutunut suunnitellussa laajuudessa, koska kokeeseen valittujen koneiden käyttötuntimäärät jäivät alhaisiksi. Stara teetti kuitenkin materiaalitekniikkaan liittyvän diplomityön ruiskutussuuttimien likaantumisen, ja tästä työstä saatiin hyvin mielenkiintoisia tuloksia.

6.2.2 Staran työkoneiden instrumentointi ja mittausohjelma

Staran osalta seurannan ja mittauksen kohteeksi valittiin kaksi EU Stage III B -päästöluokan Wille 600 -monitoimikonetta (teholuokka $75 < P < 130$ kW). Koneilla voidaan mm. aurata lumia, lakaista katuja, hiekoittaa jne. Normaalisti Stara seuraa työkoneiden käyttö-, toiminta- ja sijaintitietoja verkossa olevalla seurantajärjestelmällään. Tapahtumat tallentuvat ajoneuvo-kohtaiseen rekisteriin.

Toisen koneen oli tarkoitus käyttää perinteistä EN590 dieselä, ja toisen Neste MY uusiutuvaa dieselä. Molempiin koneisiin asennettiin kesällä 2018 Proventia PROCARE™ -seurantalaitteistot.

Koneiden PEMS-mittaukset tehtiin syksyllä 2019.

6.2.3 Staran teettämä materiaalitekniikan diplomityö

Tekn.yo. Ville Sundman teki Staralle materiaalitekniikkaan painottuvan diplomityön. Työn otsikko on "Paraffinic diesel in loaders, trucks and other mobile machinery"¹².

Kirjallisuudessa Sundman selvitti normaalin fossiilisen dieselin, perinteisen biodieselin (FAME) ja uusiutuvan dieselin (HVO) ominaisuuksia ja eroja. Kirjallisuudessa Sundman käsittelee yhteensä 54 lähdeaineesta. Kirjallisuuden perusteella HVO-polttoaine laskee kaikkia päästökäsitteitä fossiiliseen dieseliin verrattuna. HVO ei kirjallisuuden perusteella aiheuta mitään materiaaliongelmaa. Perinteinen biodiesel sen sijaan on ongelmallista tiettyjen kumi- ja kuparikomponenttien osalta, ja lisäksi perinteinen biodiesel pilaantuu herkästi pitkäaikaisessa varastoinnissa.

Kokeellisessa osassa Sundman tutki ruiskutussuuttimien likaantumista Staran Wille 600 -monitoimikoneissa. Kahteen koneeseen vaihdettiin kumpaankin yksi uusi ruiskutussuutin. Toinen kone ajoi EN590 dieselillä, toinen Neste MY uusiutuvalla dieselillä. Kokeen aikana kumpikin kone käytti yli 500 l polttoainetta. Kokeen päätteeksi suuttimet tutkittiin sekä optisella että elektronimikroskoopilla. Alkuainetunnistus tehtiin EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) -spektroskopiolla.

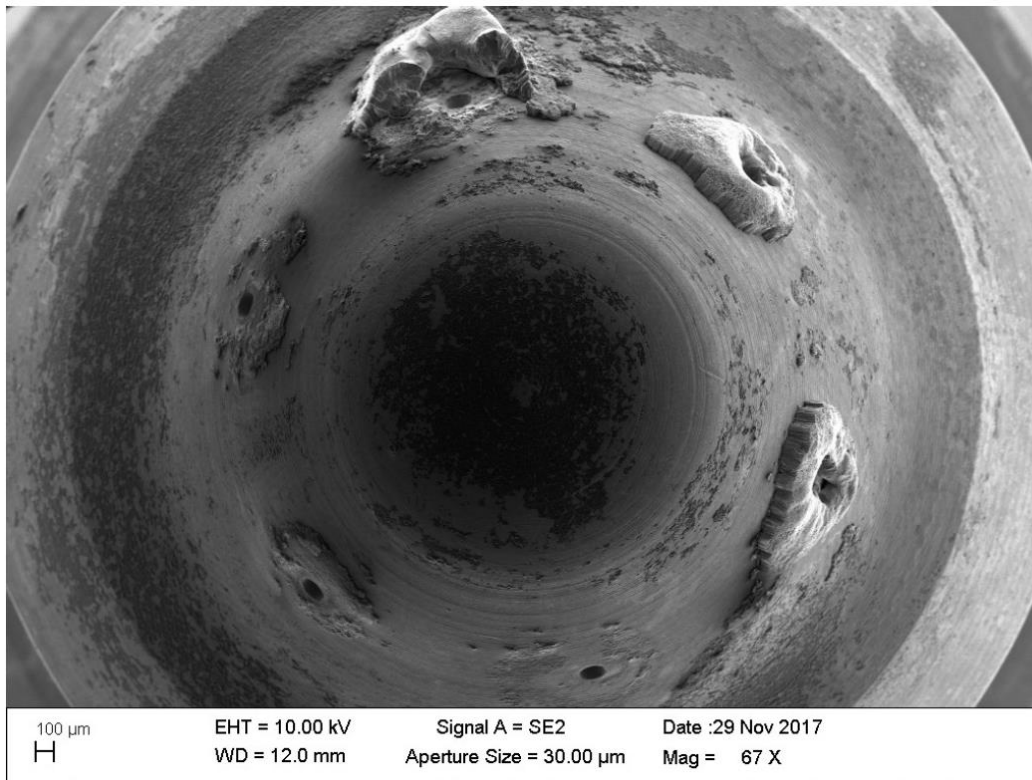
HVO-polttoaineella ajatun suuttimen kärjessä ei esiintynyt epänormaalia kulumista, mikä vastaa kirjallisuustutkimuksen tuloksia. Karstan koostumuksessa ja määrässä oli eroja polttoai-

¹¹ <https://smartclean.fi/>

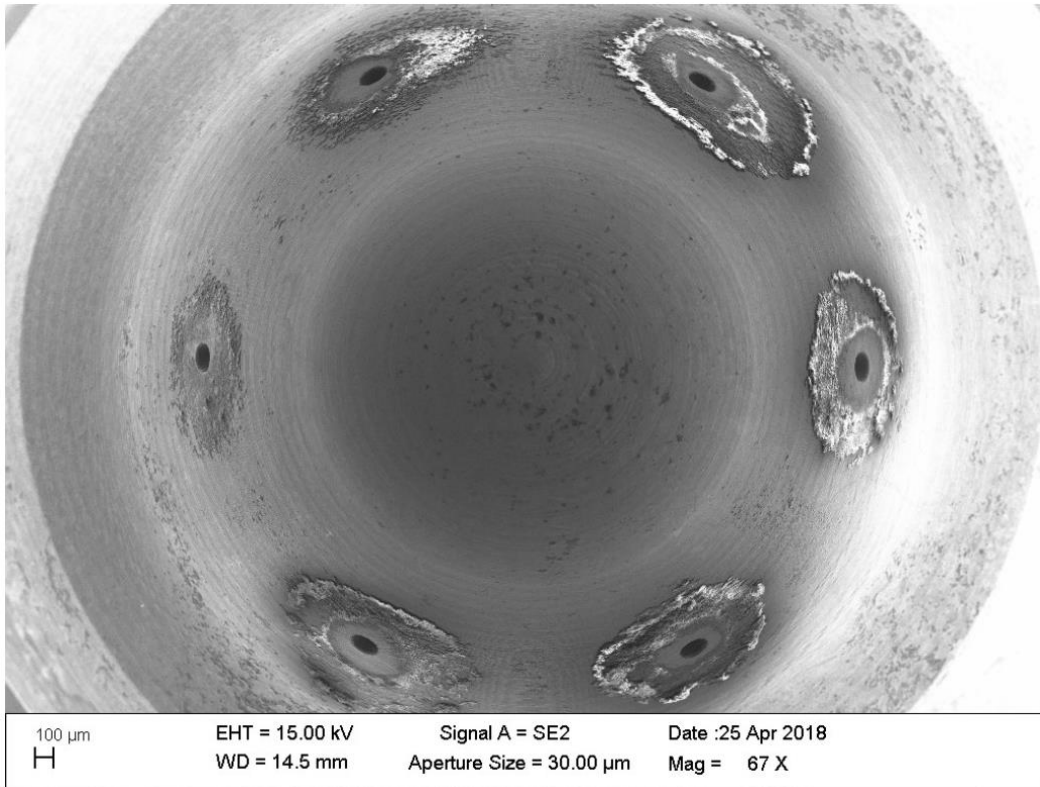
¹² <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/32422>

neiden välillä. Tavanomaisella dieselpolttoaineella ajetun suuttimen karstassa esiintyi sinkkiä, fosforia, rikkiä ja kalsiumia, hapen ja hiilen lisäksi. Näitä raskaampia elementtejä ei löytynyt HVO-polttoaineella ajetusta suuttimesta, ainoastaan happea ja hiiltä.

Kuvissa 6.1 (perinteinen dieselpolttoaine) ja 6.2 (HVO-polttoaine) on elektronimikroskoopilla kuvatut suutinkärjet. Sundmanin havainnot ovat erittäin kiinnostavia. Kuvista käy selvästi ilmi pienempi karstan kertyminen HVO-polttoaineella. Karstan vähäisyys pitää polttoainesuihkujen muodon mahdollisimman optimaalisena, ja hillitsee hiukkaspäästöjen lisääntymistä käytötuntien karttuessa.



Kuva 6.2. Perinteisellä dieselpolttoaineella ajettu suutin.



Kuva 6.3. HVO-polttoaineella (uusiutuva diesel) ajettu suutin.

6.2.4 PEMS-mittaukset

PEMS-mittaukset Staran Wille-työkoneella suoritettiin 2019 syys-lokakuun vaihteessa Staran Tattarisuon toimipisteen lähistöllä olleella asfalttikentällä. Polttoaineina olivat Neste MY diesel ja referenssipolttoaineena EN590 diesel joka oli hankittu kaupalliselta jakeluasemalta. Neste MY oli toimitettu Staran varikolle Staran omaa käyttöä varten erityiseen säiliöön. Kentälle rakennettiin mittauksia varten noin 1,1 km rata, joka ajettiin yhdellä mittauskerralla 5 kertaa. Tämä ajosuoritus toistettiin kolme kertaa molemmilla polttoaineilla. Mittauksia varten päätettiin tehdä keinotekoinen normaalia kadunlakaisua ja siirtymistä simuloiva testisykli, jotta mittaukset oli mahdollista suorittaa muulta liikenteeltä häiriöttömässä paikassa. Mittaussuorite aloitettiin täysin lämminneellä työkoneella. Kuljettaja mittauksissa oli Staran kokenut Wille-työkoneen kuljettaja.

Testisykli piti sisällään kiihdytys ja hidastus osuuksia (kolme / kierros) joiden jälkeen seurasi kadunlakaisukoneen käyttöä. Kuvassa 6.4 on kuvattu tilanne jossa yksi lakaisuosuus on juuri päättynyt ja harjauslaite nostetaan ylös.



Kuva 6.4. Wille 865 monitoimipyöräkuormaaja testisyklillä.

Mittauksissa ollut Wille-työkone oli vuosimallin 2014 Wille 865 monitoimipyöräkuormaaja. Alla päätiedot työkoneesta:

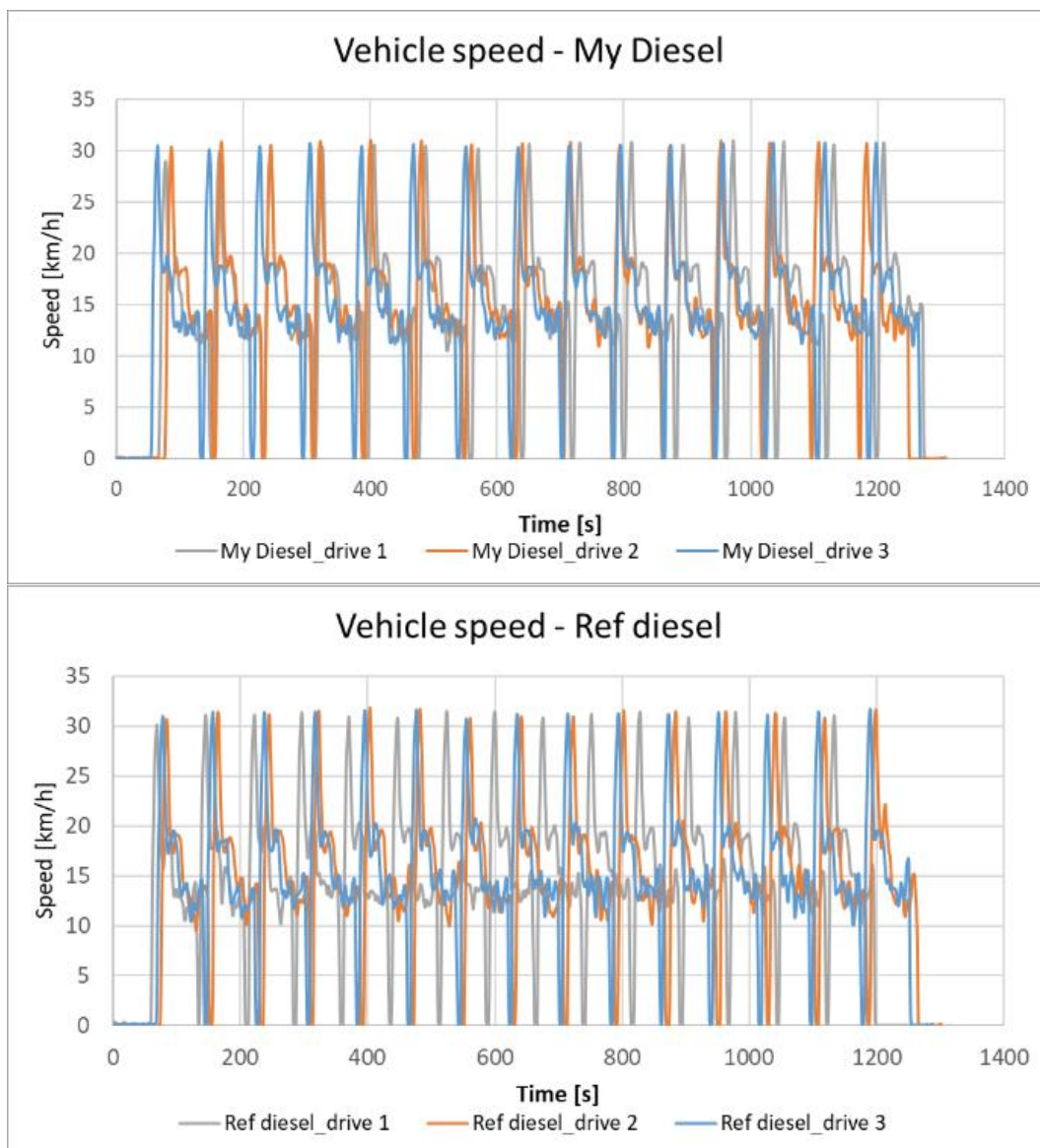
- Malli: Wille 865 monitoimipyöräkuormaaja, vuosimalli 2016
- Moottori: CAT C4.4 EU Stage III B dieselmoottori 4,4 L, 96 kW / 2200 rpm & 530 Nm / 1400 rpm
- Jälkikäsittelyjärjestelmä: DPF (vakiovaruste)
- Omapaino: 6780 kg

Työkoneenmoottori on tyyppihyväksytty EU Stage III B lainsäädännön mukaisesti. Tämä tarkoittaa sitä, että NO_x-päästöille raja-arvon on 3,3 g/kWh NRTC (Non-Road Transient Cycle) yhdistelmäsyklillä (painotus 10 % kylmäkäynnistys ja 90 % kuumakäynnistys) ja NRSC (Non-Road Steady Cycle). PN-päästöille ei Stage III B-lainsäädännössä ollut vielä raja-arvoa. Vuonna 2019 voimaan tulleeseen Stage V -lainsäädäntöön tuli myös raja-arvo PN-päästöille, joka on 1x10¹² hiukkasta/kWh.

Mittaukset suoritettiin VTT:n PEMS-mittalaitteella josta on tarkempi kuvaus kappaleen 5.1 alussa. Mittalaite asennettiin Wille-työkoneen moottoripeitteen yläpuolelle (Kuva 6.4) tarkoitusta varten tehdyille kiinnitysalustalle. Tarkastelussa olleet päästökomentit olivat CO₂, NO_x ja PN-päästöt. PM-päästöjä ei otettu tarkasteluun, sillä kuten kappaleessa 5.1 on kerrottu, tiedetään kokemuksen perusteella PEMS-mittalaitteen PM-mittauksessa esiintyvän epävarmuutta jota ei vielä riittävällä tarkkuudella tunneta, kun mitataan moottoreita joissa on hiukkassuodattimen ansioista hyvin matala PM-päästötaso. Työkoneen moottorista oli saatavissa CAN-väylän kautta kohtuullisen suuri määrä erilaisia moottorin toimintaa kuvaavia suureita, kuten moottorin kuormitustieto, pyörimisnopeus sekä ajonopeus.

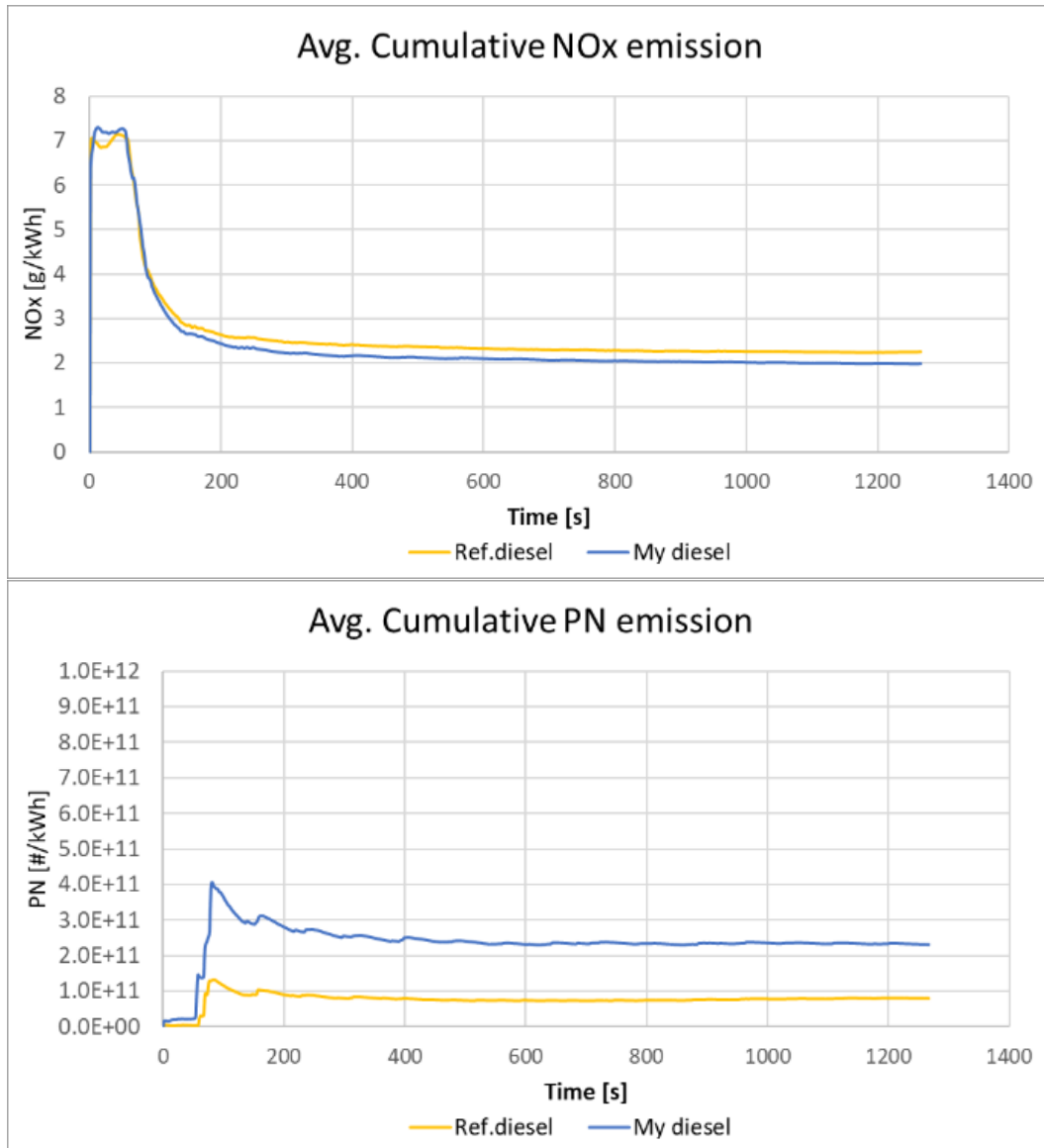
Päästökomentit ovat laskettu suhteessa ajettuun matkaan (GPS + ajoneuvon tieto) sekä tehtyyn työmäärään (CAN-tieto).

Kuvassa 6.5. näkyy testisyklin nopeusprofiili molemmilla testipolttoaineilla. Kuten kuvat osoittavat testisyklit toistuivat hyvin samanlaisina. Piikkien välissä olevat matalammat nopeusprofiilit ovat seurausta lakaisukoneen käytöstä.



Kuva 6.5. Wille-työkoneen nopeusprofiili kolmella peräkkäisellä mittauksella.

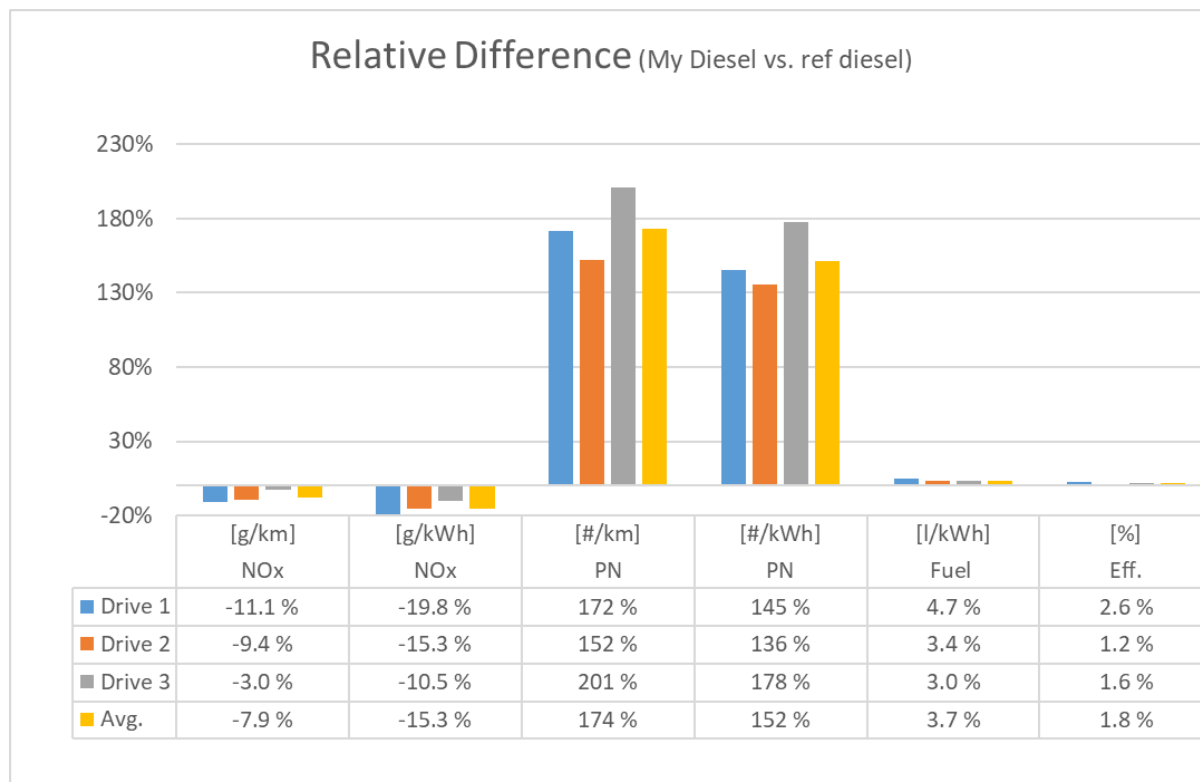
Kuvassa 6.6 on esitetty keskiarvo kumulatiivisesta NO_x - sekä PN-päästöstä yksikössä g/kWh ja #/kWh kolmen toistokerran osalta molemmilla polttoaineilla. Kuvassa 6.7 on esitetty yhteenveto vertailusta keskeisimpien vertailusuureiden välillä.



Kuva 6.6. Kolmen peräkkäisen mittauskierroksen keskiarvo kumulatiivisesta NO_x-päästötuloksesta yksikössä g/kWh sekä PN-päästötuloksesta yksikössä #/kWh referenssipolttoaineella (EN590 diesel) sekä Neste MY dieselillä.

Uusiutuva MY Diesel nosti litramääräistä polttoaineen kulutusta n. 3,5 % EN590-polttoaineeseen verrattuna, eli vähemmän kuin lämpöarvojen ero antaisi olettaa. Tämä selittyy sillä, että hyötysuhde paranee MY Dieselillä lähinnä korkean setaaniluvun ansiosta vajaa 2 %.

MY Diesel laski päästöjä tehtyyn työhön suhteutettuja NO_x-päästöjä -10...-20 %. Hiukkaspäästöjen osalta tulos oli hieman yllättävä, sillä PN-lukemat olivat suhteellisesti suuremmat MY Dieselillä kuin EN590-polttoaineella. Absoluuttitaso oli kuitenkin matala DPF-hiukkas-suodattimen ansiosta. Uusimmassa Stage V lainsäädännössä PN raja on #1x10¹², ja nyt Stage III B koneelta saatiin #1x10¹¹ Neste MY Dieselille ja #8x10¹⁰ EN590-polttoaineelle.



Kuva 6.7. Yhteenveto Wille-työkoneella suoritetuista mittauksista Neste MY dieselillä.

Kuvan 6.7 tulosityhteenveto taulukon mukaisesti Neste MY Diesel laski NO_x-päästöjä keskimäärin noin 15 % (g/kWh) verrattuna referenssidieseliin. Kuten kuvasta 6.6 nähdään työkoneneen NO_x-päästöt olivat alun käynnistys- ja tyhjäkäyntipiikkiä lukuun ottamatta koko ajan likimain saman verran matalammat Neste MY Dieselillä. PN-päästöt kasvoivat noin 1,5 kertaisiksi (#/kWh). Myös PN-päästöjen osalta ero oli koko testisyklin ajan likimain vakio pois lukiin alun piikki. Absoluuttitasona PN-päästöt ovat kuitenkin hyvin matalat ja alittaisivat kirkkaasti myös nykyisen Stage V lainsäädännön raja-arvon 1×10^{12} hiukkasta/kWh ollen noin 20 % (Neste MY Diesel) ja noin 8 % (referenssi diesel) verrattuna siihen.

Keskimääräinen litramääräinen polttoaineenkulutuksen (l/kWh) nousu, noin 3,7 %, asettuu hyvin samalle tasolle mitä hankkeen bussimittauksissa on havaittu. Moottorin hyötysuhteen paraneminen keskimäärin noin 1,8 % on myös hyvin samalla tasolla mitä hankkeen bussi- sekä kuorma-automittauksissa on havaittu.

6.2.5 Koneiden kenttäseuranta

Hankkeen puitteissa oli suunniteltu kahdelle Staran vuosimallin 2016 (Stage III B) Wille 865 työkoneelle kenttäseuranta siten, että toinen käyttää 100 % uusiutuvaa ja toinen 100 % EN590-dieselpolttoainetta. Tavoitteena oli sama kuin bussien kenttäseurannalla, eli seurata mahdollisia eroja vika- ja huoltotarpeissa sekä tarkkailla esiintykö koneiden NO_x-päästöissä (ppm) eroja seurantajakson aikana. Asiasta sovittiin Staran kanssa tammikuussa 2018 ja kesäkuussa 2018 asennettiin kahteen Staran Wille 865 työkoneeseen Proventia PROCARE™ NO_x-seurantalaitteistot, jonka jälkeen työkoneet olivat valmiit kenttäseuranta varten.

Loppuvuonna 2018 kävi ilmi, että työkoneiden osalta molemmissa oli käytetty 100 % tavanomaista dieselpolttoainetta ja työkoneiden huolto- ja korjaustilastointi ei ollut onnistunut. Keväällä 2019 Staran kanssa suunniteltiin uusi toteutus kenttäseurannalle siten, että molemmat työkoneet sijoitetaan Staran Tattarisuon varikolle ja VTT toimittaa sinne farmisäiliön johon

Stara tilaa Neste MY Dieseliä. Farmisäiliö toimitettiin Staran varikolle elokuussa 2019. Ta-voitteena oli nyt saada kenttäseurantadataa kahdelta työkoneelta elokuu 2019 - tammikuu 2020 aikajaksolta.

Tuntemattomasta syystä johtuen molempien työkoneiden käyttö on kuitenkin ollut PRO-CARE™ tallenteen perusteella hyvin vähäisellä tasolla (luokkaa 10 - 300 km/kk), jolloin luotettavien analyysien tekeminen ei ole mielekästä. Tästä syystä Wille-työkoneiden kenttäseurannasta ei ole raportoitavia tuloksia.

Koneilla ajettiin kuitenkin sen verran eri polttoaineilla 2017 - 2018, että Ville Sundman sai tehtyä kohdassa 6.2.3 mainitun materiaalitekniikkaan liittyvän diplomityönsä.

6.3 UPM:n palveluksessa olevat työkoneet

6.3.1 Yleistä

Kokeet UPM:n uusiutuvalla BioVerno-polttoaineella toteutettiin kahdessa osassa. PEMS-laitteistolla tehdyt mittaukset toteutettiin Vuosaaren satamassa Oy M. Rauanheimo Ab:n kalustolla. Tämän lisäksi tehtiin kenttäkoe työkoneilla UPM Kaukaan sahan puukenttäurakoinnissa Fin-Terpuu Oy:n kalustolla.

6.3.2 PEMS-mittaukset

PEMS-mittaukset toteutettiin VTT:n toimesta Vuosaaren satamassa lokakuussa 2018. Mit- tauksissa käytetty työkone oli vanhahko Volvo BM L150 kauhakuormaaja (n. 20 vuotta, kuva 6.9). Konetta käytetään puutavaran ahtaamiseen merikontteihin.



Kuva 6.9. PEMS-laitteistolla varustettu kauhakuormaaja (keltainen kone) siirtämässä puu- nippua.

Mittauksissa käytettiin VTT:n PEMS-laitteistoa siten, että siihen oli yhdistetty laajennettu hiukkasmittaus (hiukkasmassan punnitus ja AVL Micro-sootsensor, joka mittaa hetkellistä no- kipäästöä). Päästöistä raportoidaan NO_x- ja PM -massa päästöt suhteessa käytettyyn energi- aan. Energian kulutus ja hetkellinen polttoaineteho puolestaan laskettiin polttoaineen hiili-in- tensiteetistä (g CO₂/MJ) ja toteutuneesta CO₂-päästöstä. Työkone oli niin vanha, ettei siinä

ollut sähköistä moottorin ohjausta, eikä siitä näin ollen saatu suoraan tietoa hetkellisestä tehosta. Päästöjä ei siis pystytty suhteuttamaan moottorin tekemään työhön (g/kWh), vaan ne suhteutettiin moottorille syötettyyn energiaan (g/MJ).

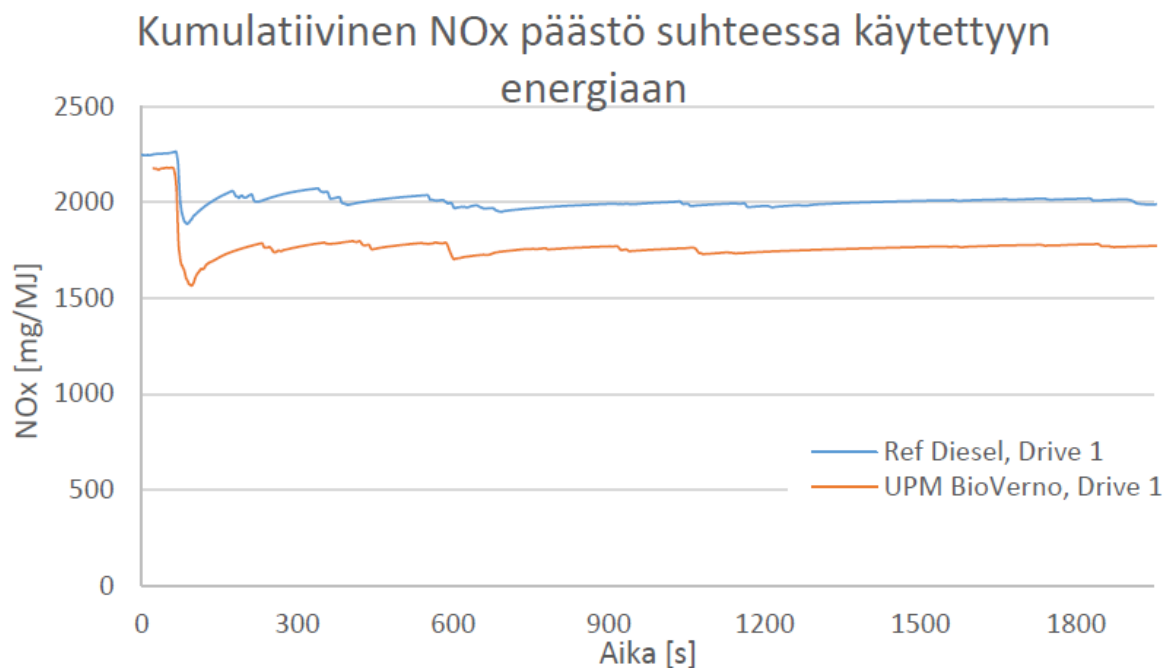
Polttoainelaatuja oli kaksi:

- normaali moottoripolttoöljy, tiheys 834 kg/m³, lämpöarvo 43,1 MJ/kg (EN590)
- uusiutuva UPM BioVerno dieselpolttoaine, tiheys 815 kg/m³, lämpöarvo 43,7 MJ/kg

Polttoaine arvot perustuivat osittain analyysihin, osittain JEC/JRC-taulukkoarvoihin¹³.

Mittaukset tehtiin normaalista puutavaran ahtamisesta kahteen otteeseen ja kahdella polttoaineella. Polttoainevaihtojen yhteydessä polttoainesäiliö tyhjennettiin ja koko polttoainejärjestelmä huuhdottiin. Ensimmäisessä mittauksessa työn kesto oli noin 30 minuuttia sisältäen 10 puutavaran työntökertaa. Toinen vaihe oli kestoltaan lyhyempi, 18 minuuttia, sisältäen 8 työntökertaa. Kummallakaan kerralla rinnakkaiset mittausjaksot eivät toistuneet identtisinä, vaan työmäärissä esiintyi vaihteluita. Koska päästötulokset suhteutettiin todelliseen energiamäärään, tämä tasasi työkerroissa olleita eroja.

Kuvassa 6.10 on esimerkki energian käyttöön suhteutetun NO_x-päästön kehitymisestä kokeen aikana.

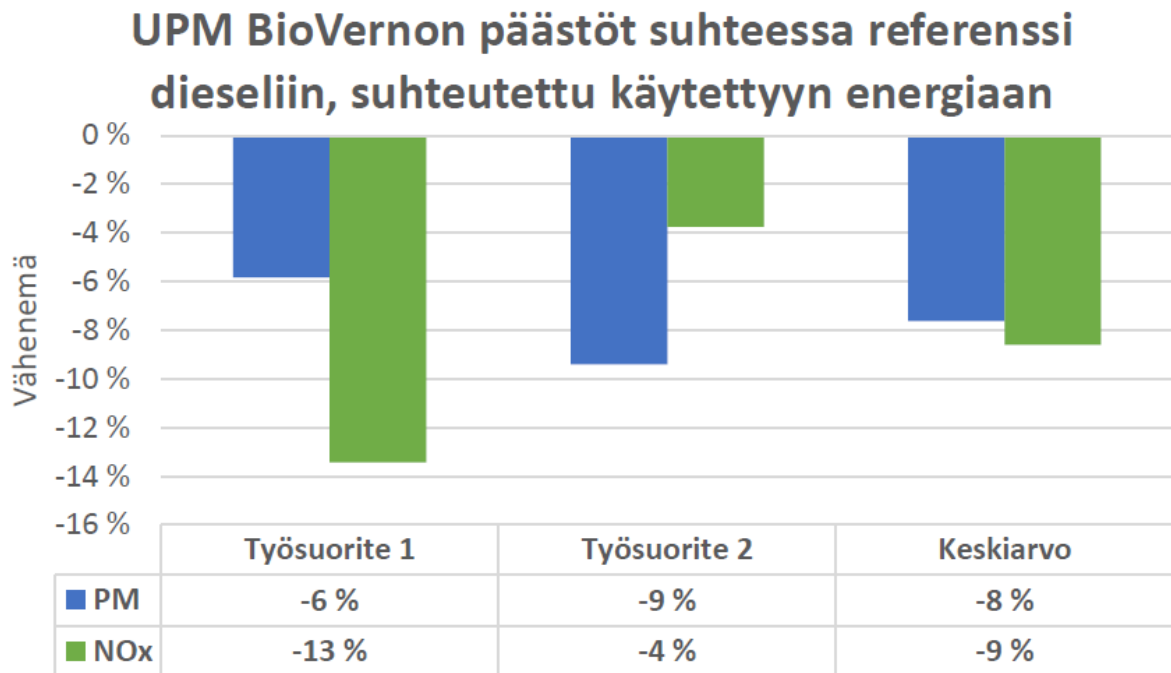


Kuva 6.10. Energiaan suhteutetun NO_x-päästön kehittyminen kokeen yli.

Kuvassa 6.11 on yhteenveto tuloksista suhteellisessa muodossa. UPM BioVerno laski sekä NO_x- että PM -päästöjä moottoripolttoöljyyn verrattuna. Hieman yllättäen vaikutus oli samaa tasoa sekä NO_x- että PM -päästöjen osalta, kun oletusarvo oli, että vaikutus olisi suurempi PM-päästöön. Selittävä tekijä on todennäköisesti alhainen keskimääräinen kuormitus ja suuri joutokäyntiosuus, jolloin myös hiukkasten muodostus on vähäistä. Keskimäärin UPM BioVerno alensi sekä NO_x- että PM -päästöä n. 10 %.

¹³ <http://iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/downloads>

Koneen NO_x-päästö oli tasolla 2000 mg/MJ polttoainetta (kuva 6.10). Olettaen moottorin hyötysuhteeksi 35 %, tämä vastaisi g/kWh lukuna likimäärin arvoa 20 g/kWh moottorin kampiakselilla, mikä on erittäin korkea luku. Vastaavasti PM-päästö oli luokkaa 20 mg/MJ, eli noin 0,2 g/kWh kampiakselilla, mikä varsin tyypillinen luku dieselmoottorille, jossa ei ole mitään pakokaasujen jälkikäsittelyä.



Kuva 6.11. Yhteenvedo BioVernon vaikutuksista NO_x- ja PM -päästöihin suhteessa moottoripolttoöljyyn.

6.3.3 Koneiden kenttäseuranta

Kenttäkoe UPM BioVerno polttoaineella toteutettiin Fin-Terpoo Oy:n koneilla toukokuussa 2019 UPM Kaukaan sahan puukenttäurakoinnissa¹⁴. Testikoneina oli tälläkin kertaa Volvo pyöräkuormaajia, mutta nyt uudempaa L220H-mallia. Kyseessä olivat pyöreän puun lajittelutyön ja sahan syötön prosessikoneet. Koeajon aikana ajettiin yhteensä noin 120.000 m³ sahatukkaa.

Kiinnostuksen kohteena olivat polttoaineen kulutus ja polttoaineen yleinen toimivuus. Vertailukohteina oli käytettävissä Fin-Terpoo Oy:n kulutuslukemat ja energiatehokkuusluvut ajanjaksolta tammi - huhtikuu 2019.

Testijakson aikana koneilla ajettiin UPM BioVerno polttoaineella seuraavasti:

Lajitteluprosessin kone:

- ajoi 10.5 - 30.5.2019
- UPM BioVerno polttoainetta kului 3498 litraa
- käsitellyt kuutiot 64.867 m³
- konetunnit olivat 230 h
- puumäärä tunnissa 282 m³/h

¹⁴ Tiedot ilmoitti UPM:n Ville Vauhkonen 1.3.2020

- ominaiskulutus 0,054 l/m³

Sahansyöttöprosessin kone:

- ajoi 13.5 – 30.5.2019
- UPM BioVerno polttoainetta kului 5382 litraa
- käsitellyt kuutiot oli 54.696 m³
- konetunnit olivat 276 h
- puumäärä tunnissa 198 m³/h
- ominaiskulutus 0,098 l/m³

Loppupäätelmä kenttäkokeesta oli, että kokeilu sujui ilman ongelmia. Heti koejakson alussa toisessa koneessa todettiin polttoainesuodattimen rikkoutuminen, mutta tämän ei katsottu olevan yhteydessä polttoaineen vaihtoon.

Tavoitteena oli Fin-Terpuu Oy:n seurantajärjestelmän avulla tutkia polttoaineen vaihdon vaikutusta polttoaineen kulutukseen. Järjestelmässä työtehokkuuden arvioinnin mittari on käsitelty puumäärä konetuntia kohti (m³/h), ja edelleen polttoaineen kulutus käsiteltyä puumäärää kohti (l/m³).

Koneen kuormitusaste (m³/h) heijastuu polttoaineen ominaiskulutukseen. Mitä suurempi keskimääräinen kuormitus, sitä pienempi ominaiskulutus käsiteltyä puumäärä kohti (l/m³, yllä oleva haarukka 0,054...0,098 l/m³). Kattavaa vertailudataa täysin vastaavasta käytöstä kuin koejakson aikana toteutui ei ole käytettävissä, ja näin ollen polttoaineen vaikutuksesta kulutukseen ei voi tehdä yksiselitteisiä johtopäätöksiä. Fin-Terpuu Oy:n käsityksen mukaan UPM BioVerno ei kuitenkaan ainakaan lisännyt polttoaineen kulutusta.

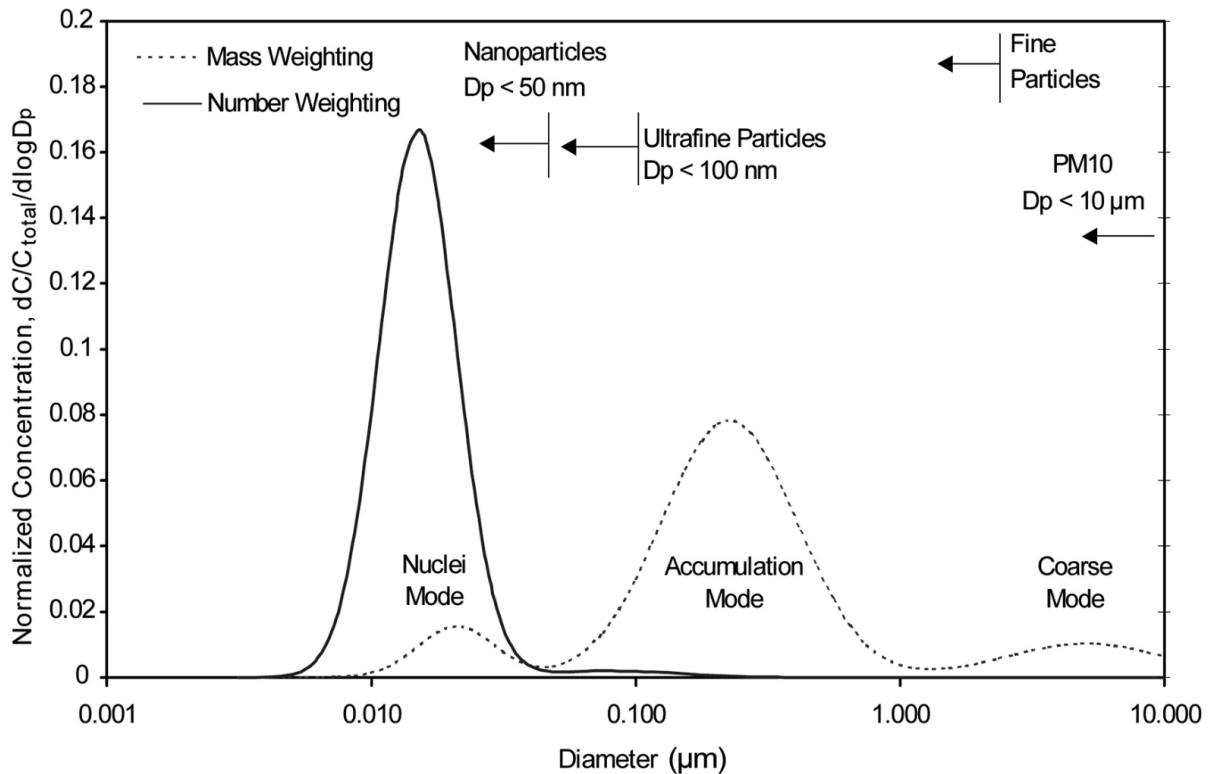
6.4 Yhteenveto työkoneiden päästömittauksista

Mitatuissa työkoneissa uusiutuvan dieselpolttoaineen käyttö vähensi NO_x-päästöjä 10...15 %. Hiukkasten osalta tulokset eivät olleet yhtä yksiselitteisiä. Tämä selittyy osittain sillä, että mitattu Staran Wille-monitoimikone oli varustettu varsinaisella hiukkassuodattimella, kun taas UPM:n ajossa olleessa vanhassa Volvo-pyöräkuormaajassa ei ollut mitään pakokaasun jälkikäsittelyä. Haasteita syntyy myös mittaustekniikasta, PEMS-laitteisto ei pysty luotettaviin hiukkasmassamittauksiin sellaisten moottoreiden osalta, joissa on hyvin alhainen PM-päästö-taso, ts. hiukkassuodattimella varustetuista moottoreista.

Vanhassa Volvo-pyöräkuormaajassa uusiutuva dieselpolttoaine vähensi hiukkasten massapäästöä noin 10 %. Lukema on alhainen odotusarvoon verrattuna, mutta selittyy sillä, että mittauksissa käytetyssä työsyklissä keskimääräinen kuormitus oli alhainen.

Hiukkassuodattimella varustetusta Wille-työkoneesta mitattiin em. syistä ainoastaan hiukkaslukumäärät. Tässä tapauksessa uusiutuvan dieselpolttoaineen käyttö lisäsi hiukkasten lukumäärää, joskin absoluuttiset tasot olivat matalia.

Dieselpalamisen seurauksena syntyy suuri määrä primäärihiukkasia (nuclei mode particles). Osa näistä agglomeroituu suuremmaksi hiukkasryppäiksi (accumulation mode particles). Kuvassa 6.12 on esitetty hiukkasten lukumäärä- ja massajakautuma hiukkaskoon funktiona, ja kuvassa 6.13 agglomeroituneen hiukkasen rakenne.



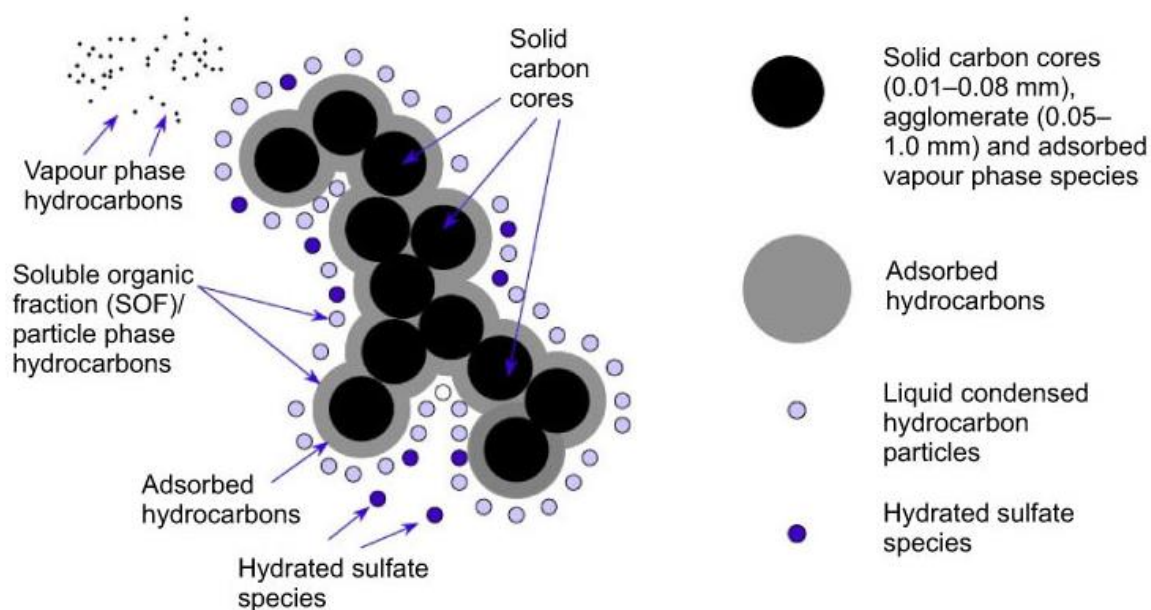
Kuva 6.12. Dieselhiukkasten lukumäärä- ja massajakautumat¹⁵.

Selitys suuremmalle hiukkaslukumäärälle voi olla siinä, että aromaattisten yhdisteiden puuttuessa syntyy vähemmän ytimiä agglomeroituville hiukkasille, jolloin suurempi osa hiukkaista jää olemaan primäärihiukkasina. Hiukkasmassa on kuitenkin pienempi parafiinisella polttoaineella kuin aromaatteja sisältävällä tavallisella dieselpolttoaineella.

Hiukkassuodattimen rakenne ja tiheys vaikuttavat siihen, missä määrin hiukkassuodatin laskee läpi pienimpiä hiukkasia. Nyt kyseessä olevassa Stage III B -luokan työkoneessa oli arvatunkin harvaho suodatin, jonka tarkoituksena oli nimenomaan hiukkasmassan, ei hiukkaslukumäärän vähentäminen. Rajat hiukkaslukumäärille tulivat vasta Stage V -määräyksen myötä, ja uusissa koneissa käytetäänkin sellaisia suodattimia, jotka tehokkaasti vähentävät myös hiukkaslukumääriä (kts. Euro VI -bussien PEMS-tuloksia).

Aikaisemmin IEA-hankkeen puitteissa vanhemmilla Wille-koneella tehdyissä mittauksissa mitattiin sekä hiukkaslukumääriä että hiukkasmassaa. Mitatuissa koneissa ei ollut hiukkas-suodattimia, ja uusiutuvan polttoaineen käyttö laski selvästi hiukkasmassaa ja keskimäärin myös hiukkaslukumääriä, taulukko 6.1.

¹⁵ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1743967118307517?via%3Dihub>



Kuva 6.13. Agglomeroituneen hiukkasen rakenne¹⁶.

Taulukko 6.1. Hiukkastuloksia aikaisemmista mittauksista Wille-monitoimikoneilla. Näissä koneissa ei ollut hiukkassuodattimia¹⁰.

Machine	Cycle point	Number of particles, change EN 590 => Renewable Diesel (%)	Particle mass, change EN 590 => Renewable Diesel (%)
Wille 855	Idling	-65	-35
	Transportation	-3	-25
	Plowing	+6	-22
	Loading	-6	-25
Wille 355	Idling	-26	-35
	Transportation	-7	-55
	Plowing	-22	-58
	Loading	+48	-28

¹⁶ <https://www.technology.matthey.com/article/53/1/27-34/>

7. BioSata-selvityksen tuloksia

7.1 Yleistä

Rinnan varsinaisen BioSata-hankkeen alkuvaiheen kanssa 2016 - 2017 toteutettiin ”BioSata selvitys”. Selvityshankkeen hankkeen rahoittivat TEM ja VTT. Hanke teki varsinaiseen BioSata-hankkeeseen liittyen laskentoja päästömääristä sekä päästö- ja ajoneuvokustannuksista eri tekniikkavaihtoehtoilla. Tarkastelut tehtiin HSL:n tilaamalle bussiliikenteelle ja Staran omalle dieselkäyttöiselle kalustolle.

Lisäksi selvityshankkeen puitteissa osallistuttiin Komission biopolttoaineisiin liittyviin työryhmiin ja avustettiin TEM:iä Suomen biopolttoaineita koskevien teknologiapolkujen määrittelemisessä.

BioSata selvitys -hankkeen tavoitteiksi kirjattiin:

- Arvioidaan biopolttoaineiden kohdennetulla käytöllä saavutettavissa olevat ympäristöhyödyt, HSL:n ja Staran osalta vaikutukset niin kasvihuonekaasupäästöihin kuin lähipäästöihin. Kuinka nopeasti uudet kotimaassa relevantimmat korkeaseospolttoaineet voidaan saada hyväksytyä polttoainenormeissa ja ajoneuvokäytössä, vai voiko tästä tulla käyttöönoton hidasteista? Ollaanko muissa maissa kuten Ruotsissa tai Saksassa meitä pidemmällä ja onko meillä opittavaa?
- Arvioidaan biopolttoaineiden kohdennetun käytön kustannusvaikutukset verrattuna tilanteeseen, jossa biopolttoaineet jaetaan tasan yleiseen käyttöön
 - Selvittävissä asioita ovat mm. heijastumat jakeluinfrastruktuuriin ja polttoaineen jakelun kustannuksiin sekä lähipäästöjen vähennysten arvottaminen
 - Sähköbussit ovat tarkastelussa mukana vertailukohtana
 - Selvitetään korkeaseosteisten biopolttoaineiden standardoinnin tilanne sekä ajoneuvojen sertifiointin tilanne
- Verrataan eri toimintamallien tehokkuutta (ympäristö- ja kustannusmielessä) kansainvälisesti

Selvitys-hankkeen erillinen raportti päivättiin 21.12.2017¹⁷. Seuraavassa esitetään yhteenveto päästö- ja kustannusarvioinneista. **Tulokset on esitetty alkuperäisessä muodossaan, eikä niitä ole päivitetty missään suhteessa.**

Tarkastelu tehtiin HSL:n tilaamalle bussiliikenteelle ja Staran omalle ajoneuvokalustolle dieselkäyttöiseen kalustoon painottuen. Tarkastelut tehtiin pääkaupunkiseudun osalta, mutta tuloksia voi soveltaa myös muihin kohteisiin niin bussien kuin työkoneiden osalta. Sekä bussikalustolle että Staran omalle kalustolle tehtiin Excel-pohjaiset laskentamallit. HSL:n tilaaman bussiliikenteen osalta oli käytettävissä autotyyppi- ja päästöluokkakohtaiset suorit tiedot. Staran kaluston osalta oli käytettävissä riittävän suurelta osin (72 %) konekohtainen kulutus-tieto. Erityisesti työkoneissa kulutus on olennainen tieto, koska se kuvastaa koneella tehdyn työn määrää paremmin kuin tuntitieto.

Kustannuslaskelmat tehtiin 2017, silloin vallinneilla polttoainehinnoilla. Tavallisen dieselpolttoaineen ja 100 %:sen uusiutuvan dieselpolttoaineen hintaero oli tuolloin 0,15 €/l. Hintaero on maaliskuussa 2020 noin 0,2 €/ (kuva 7.1), ja myös tavanomainen dieselpolttoaine on hie-man aiempaa kalliimpaa. Laskelmia ei kuitenkaan lähdetty uusimaan, koska suuruusluokka

¹⁷ Nils-Olof Nylund, Kari Mäkelä, Juha Honkatukia & Kai Sipilä. (2017). Korkeaseosteisten biopolttoaineiden käyttö: Ympäristövaikutukset, standardit kustannukset ja vertailu eurooppalaisiin toimintamalleihin. Tutkimusraportti VTT-R-06853-17.

on sama. Alkuperäisiä laskelmia polttoaineen lisäkustannuksista ja kustannustehokkuudesta päästöjen vähentämisessä voidaan edelleen pitää suuntaa antavina.



Kuva 7.1. Polttoainehintoja 3.3.2020.

Niin EU-tasolla kuin kansallisella tasolla tapahtuneita viitekehyksen muutoksia käsitellään luvussa 8.

7.2 Biopolttoaineiden kohdennetulla käytöllä saavutettavissa olevat ympäristöhyödyt

7.2.1 Bussikalusto

Bussikaluston osalta tarkasteltiin seuraavat polttoainevaihtoehdot:

- Kauppalaatuinen dieselpolttoaine
- Uusiutuva parafiininen dieselpolttoaine
- Deseletanoli (ED95)
- Maakaasu
- Biokaasu

Lisäksi tehtiin tiettyjä vertailuja sähköbusseihin.

Tarkastelut tehtiin CO₂-, NO_x- ja PM -päästöjen osalta. Laskennan pohjana käytettiin HSL:n tilaaman bussiliikenteen autotyyppi- ja päästöluokkakohtaisia suoritettietoja vuodelle 2017 ja VTT:n bussitietokannan vuoden 2016 suoritustuloksia¹⁸. Euro VI -deseletanolivaihtoehdon säännellyt päästöt arviottiin seuraavasti (ei mitattuja tuloksia):

¹⁸ http://www.transsmart.fi/files/427/Rakebus_2016_projektin_loppuraportti_20170313.pdf

- NO_x-päästöt Euro VI -dieselin mukaan
- PM-päästöt EEV-tasaisen dieseletanoliauton mukaan (hiukan alempi kuin diesel Euro VI -keskiarvo)

Bussikaluston osalta tarkastellut vaihtoehdot olivat:

- Vaihtoehto 00: nykykalusto (vuoden 2017 tilanne) fossiilisella dieselillä
- Vaihtoehto 0: nykyinen bussikalusto 13 % biokomponenttia sisältävällä kauppalaatuisella dieselpolttoaineella (oletus jakeluvelvoitteen tuomasta bio-osuudesta)
- Vaihtoehto 1: nykyinen bussikalusto 100 %:lla uusiutuvalla dieselpolttoaineella
- Vaihtoehto 02: Euro VI -dieselkalusto fossiilisella dieselillä
- Vaihtoehto 2: Euro VI -dieselkalusto 13 % biokomponenttia sisältävällä kauppalaatuisella dieselpolttoaineella
- Vaihtoehto 3: Euro VI -dieselkalusto 100 %:lla uusiutuvalla dieselpolttoaineella
- Vaihtoehto 4: Euro VI -kaasubussikalusto maakaasulla
- Vaihtoehto 5: Euro VI -kaasubussikalusto biokaasulla
- Vaihtoehto 6: Euro VI -etanolikalusto

Uusiutuvan dieselin oletettiin laskevan NO_x-päästöä 10 % ja PM-päästöä 30 % Euro II - EEV ajoneuvoluokissa, Euro VI:n osalta oletettiin, ettei polttoaine vaikuta säänneltyihin päästöihin erittäin alhaisen absoluuttisen päästötason takia (kaikki Euro VI dieselautot autot varustetuna sekä hiukkassuodattimella että SCR-ureakatalysaattorilla). Seospolttoaineen (13 % bio-osuus) ei katsottu alentavan säänneltyjä päästöjä.

Eri polttoaineketjujen (well-to-wheel) CO₂-päästöt arvioitiin käyttämällä JEC/JRC:n arvoja¹³. Myös polttoainearvot (lämpöarvo, tiheys, ominais-CO₂-päästö) pohjautuvat samaan lähteeseen.

Vertailuun otettiin myös mukaan sähköbussit keskimääräisellä suomalaisella sähköllä ja marginaalisähköllä.

Laskennassa käytettiin seuraavia arvoja:

- fossiilisen dieselin well-to-tank (polttoaineketjun alkupää) CO₂-päästö: 15,4 g CO₂/MJ
- fossiilisen dieselin tank-to-wheel (loppukäyttö) CO₂-päästö: 73,2 g CO₂/MJ
- fossiilisen dieselin well-to-wheel päästö 88,6 g CO₂/MJ
- uusiutuvan dieselin well-to-tank päästö 16,3 g CO₂/MJ (keskiarvo eläinrasvasta (24,5) ja käytetystä paistoihjasta (8,1) valmistetulle HVO-polttoaineelle)
- uusiutuvalla dieselillä aikaansaattava WTW-vähennys 82 % (fossiiliseen dieseliin verrattuna)
- fossiilisen maakaasun well-to-tank (polttoaineketjun alkupää) CO₂-päästö: 16,1 g CO₂/MJ (venäläinen maakaasu CNG:ksi, putkikuljetus 4000 km)
- fossiilisen maakaasun tank-to-wheel (loppukäyttö) CO₂-päästö: 55,1 g CO₂/MJ
- fossiilisen maakaasun well-to-wheel päästö 71,1 g CO₂/MJ
- biokaasun well-to-tank päästö 14,8 g CO₂/MJ (biokaasu yhdyskuntajätteestä)
- biokaasulla aikaansaattava WTW-vähennys 79 % (maakaasuun verrattuna)
- etanolin well-to-tank päästö 19,5 g CO₂/MJ (etanoli jätetuusta)
- etanolilla aikaansaattava WTW-vähennys 78 % (fossiiliseen dieseliin verrattuna)

Biopolttoaineiksi valittiin jätteisiin perustuvia vaihtoehtoja. Kaikki tähän valitut biovaihtoehdot antavat noin 80 %:n päästövähennys.

Käytön osalta (liikenteen taseen laskenta) biopolttoaine oletetaan CO₂:n osalta nollapäästöiseksi. Sähköbussien osalta laskennallinen päästöhaitta on nolla niin säänneltyjen kuin CO₂-päästöjen osalta.

Maa- ja biokaasu laskettiin siten, ettei mahdollisia metaanipäästöjä ole huomioitu. Pahimassa tapauksessa polttoaineketjun alkupään ja itse auton metaanipäästöt lisäävät CO₂-ekvivalenttipäästöä merkittävästi.

Sähkölle käytetyt luvut olivat:

- kotimaisen keskimääräisen sähköntuotannon CO₂-päästö 105 g/kWh (2016, Energia-teollisuus¹⁹)
- marginaalisähkön CO₂-päästö 600 g/kWh (Motiva²⁰)

Päästöjen haitta-arvot laskettiin puhtaiden ja energiatehokkaiden ajoneuvojen edistämistä koskevan direktiivin 2009/33/EY²¹ esittämällä metodiikalla. Laskenta tehdään loppukäytön, ei koko polttoaineketjun päästöistä. Haitta-arvoina käytettiin direktiivin taulukkoarvoja kerrottuna kahdella (direktiivi antaa tämän mahdollisuuden, jos halutaan korostaa ympäristöominaisuuksia):

- CO₂: 80 €/tonni
- NO_x: 0,0088 €/g
- PM: 0,174 €/g

Vuoden 2017 suoritteilla nykyisen bussikaluston laskennalliseksi polttoainekulutukseksi saatiin perustilanteessa 37,1 miljoonaa litraa vuodessa, vastaten energiamääränä 1329 TJ/a (vaihtoehto 0). Tämä luku vastasi hyvin HSL:n käsitystä bussikaluston käyttämästä polttoainemäärästä.

Normaalista liikenteen CO₂-päästöjä laskettaessa sekä biopolttoaineet että sähkö katsotaan nollapäästöisiksi. Taulukossa 7.1 on esitetty bussikaluston vuotuinen CO₂-päästö tällä periaatteella tarkasteltuna. Taulukossa 00-vaihtoehto kuvaa sitä tilannetta, että liikennöinti tapahtuisi kokonaan fossiilisella dieselpolttoaineella nykykalustossa, ja 02-vaihtoehto tilannetta, jossa Euro VI-dieselkalustossa käytettäisiin fossiilista dieseliä.

Laskentavavasta johtuen muutokset ovat suuria. Käyttövoima ratkaisee laskennallisen CO₂-päästön, ei niinkään ajoneuvotekniikka. Verrattaessa fossiilista dieseliä ja fossiilista maakaasua nähdään, että ero CO₂-päästöissä on pieni, suuruusluokkaisesti 5 %.

¹⁹ https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/tilastot/sahkotilastot

²⁰ https://www.motiva.fi/files/6817/CO2-laskenta_yksittainen_kohde.pdf

²¹ <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:120:0005:0012:FI:PDF>

Taulukko 7.1. Bussikaluston CO₂-päästöt eri vaihtoehtoissa. Oletus on, että vuonna 2017 biokomponentin osuus (energiaosuus) on 13 %.

Tekniikkavaihtoehto	CO ₂ (t/a)	Muutos nykytilaan	
		(t/a)	(%)
00 (nykykalusto fossiilisella dieselillä)	97 310	+12 650	+15
0 (nykykalusto kauppalaatuisella dieselillä)	84 660	0	0
1 (nykykalusto uusiutuvalle dieselillä)	0	-84 660	-100
02 (Euro VI dieselkalusto fossiilisella dieselillä)	95 655		+13
2 (Euro VI dieselkalusto kauppalaatuisella dieselillä)	83 220	-1 440	-2
3 (Euro VI dieselkalusto uusiutuvalle dieselillä)	0	-84 660	-100
4 (Euro VI kaasuauto maakaasulla)	93 217	+8 557 ¹⁾	+10 ¹⁾
5 (Euro VI kaasuauto biokaasulla)	0	-84 660	-100
6 (Euro VI etanoliauto)	0	-84 660	-100

¹⁾ Verrattuna fossiiliseen dieseliin nykykalustossa -4 093 t/a ja -4 %

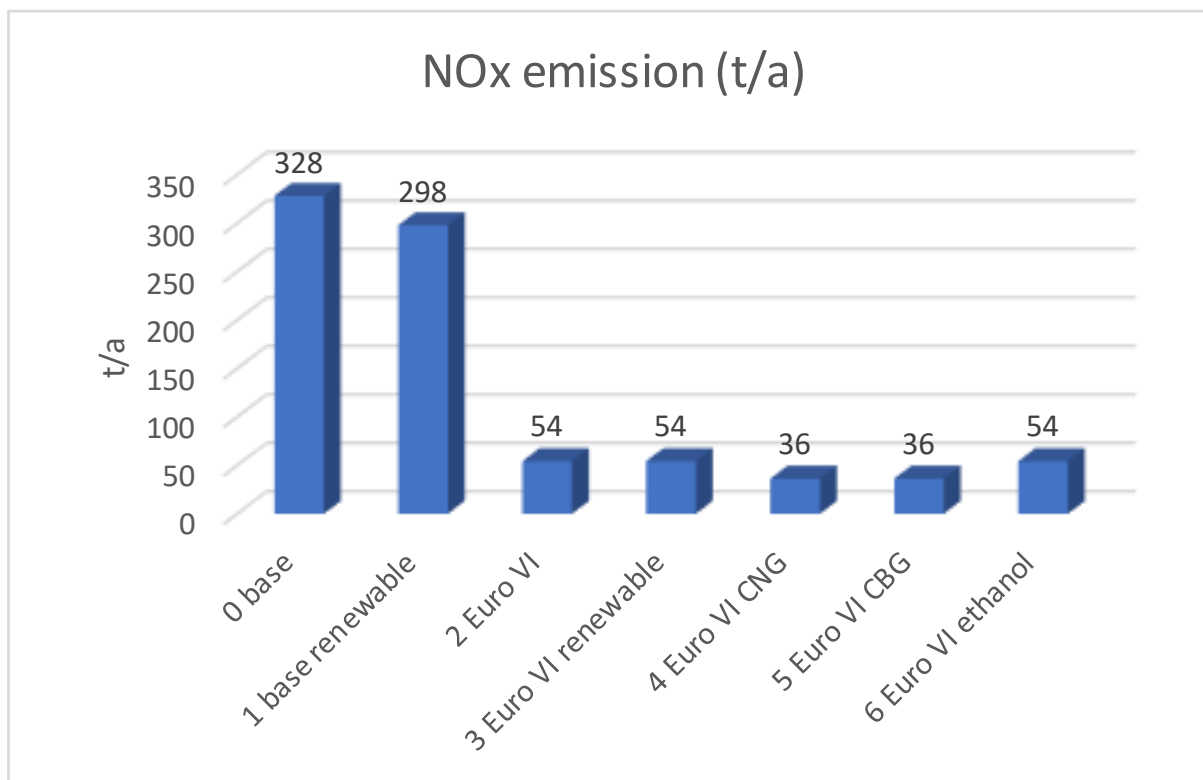
Totuudenmukaisempi kuva saadaan, kun tarkastellaan CO₂-päästöjä koko polttoaineketjun yli (well-to-wheel). Sekä biopolttoaineiden että sähkön loppukäyttö katsotaan edelleen nollapäästöiseksi, mutta nyt huomioidaan polttoaineiden ja sähkön tuotannosta aiheutuvat päästöt. Tulokset on esitetty taulukossa 7.2.

Taulukko 7.2. Koko polttoaineketjun CO₂-päästöt

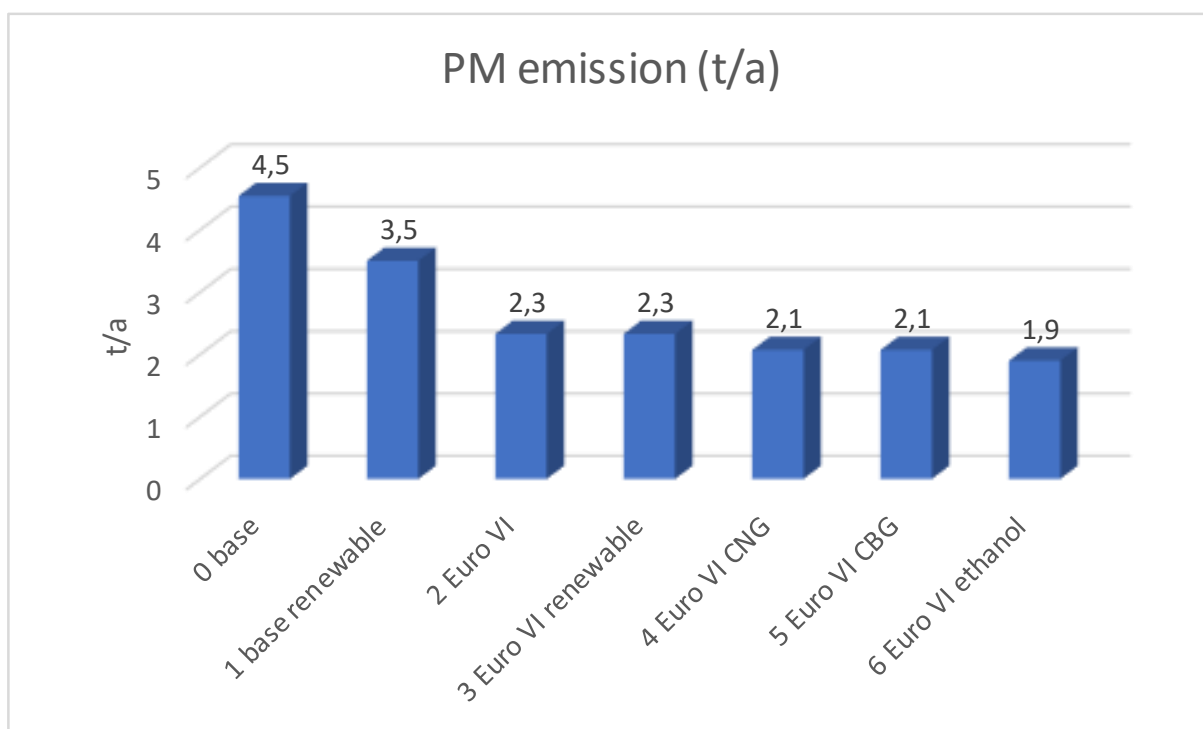
Vaihtoehto	Energia (TJ)	WTT (t CO ₂)	TTW (t CO ₂)	WTW (t CO ₂)	Muutos WTW (%)
00 (nykykalusto fossiilisella dieselillä)	1329	20 472	97 310	117 782	+12
0 (nykykalusto kauppalaatuisella dieselillä)	1329	20 628	84 660	105 287	0
1 (nykykalusto uusiutuvalle dieselillä)	1329	21 669	0	21 669	-79
02 (Euro VI diesel fossiilisella dieselillä)	1307	20 124	95 655	115 779	+10
2 (Euro VI diesel kauppalaatuisella dieselillä)	1307	20 277	83 220	103 497	-2
3 (Euro VI diesel uusiutuvalle dieselillä)	1307	21 300	0	21 300	-80
4 (Euro VI kaasuauto maakaasulla)	1692	27 238	93 217	120 454	+14
5 (Euro VI kaasuauto biokaasulla)	1692	25 038	0	25 038	-76
6 (Euro VI etanoliauto)	1390	27 099	0	27 099	-74
7 (sähköbussit, keskimääräinen sähkö)	373	10 876	0	10 876	-90
8 (sähköbussit, marginaalisähkö)	373	62 147	0	62 147	-41

Käytetyillä oletusarvoilla 100 %:siin biopolttoaineisiin siirtyminen laskee koko polttoaineketjun CO₂-päästöjä 74...80 % nykytilanteeseen verrattuna. Jos vertailukohta olisi fossiilinen diesel nykykalustossa, vähennykset olisivat 77...82 %. Fossiilisesta dieselistä fossiiliseen maakaasuun siirtyminen nostaisi well-to-wheel päästöjä noin 4 %. Keskimääräisellä sähköllä toimivalla sähköbussikalustolla päästövähennys olisi 90...91 %, ja marginaalisähkön tapauksessa 41...47 %.

Kuvassa 7.2 on vuotuinen NO_x-päästö ja kuvassa 7.3 vuotuinen PM-päästö.



Kuva 7.2. Bussikaluston vuosittainen NO_x-päästö eri vaihtoehtoissa.



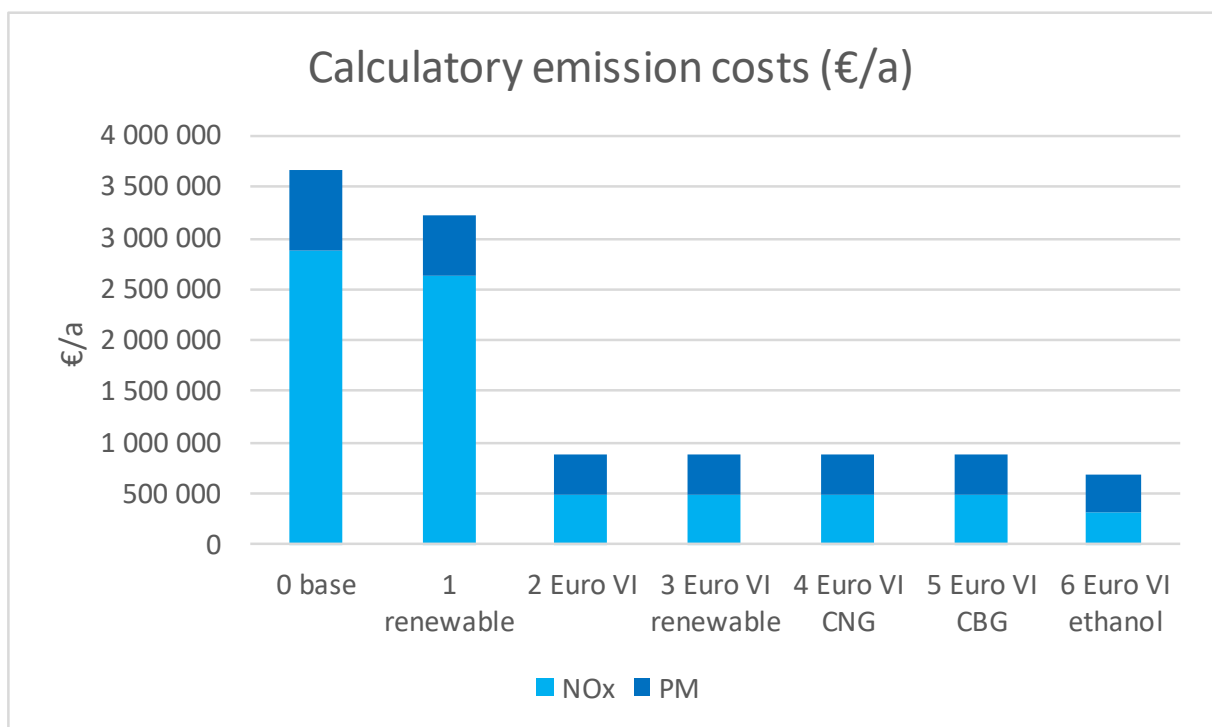
Kuva 7.3. Bussikaluston vuosittainen PM-päästö eri vaihtoehtoissa.

Lähipäästöjen osalta ensisijaisesti ajoneuvotekniikka määrää päästötason, ei niinkään polttoaine. Nykykalustossa on vielä havaittavissa polttoaineen vaikutuksia, mutta erot tasaantuvat Euro VI-kalustoon mentäessä. Euro VI-tasolla kaasuautojen pienentävät NO_x-päästöä hieman dieselkalustoon verrattuna. Lähipäästöjen osalta sähköbussi on luonnollisestikin nollapäästöinen.

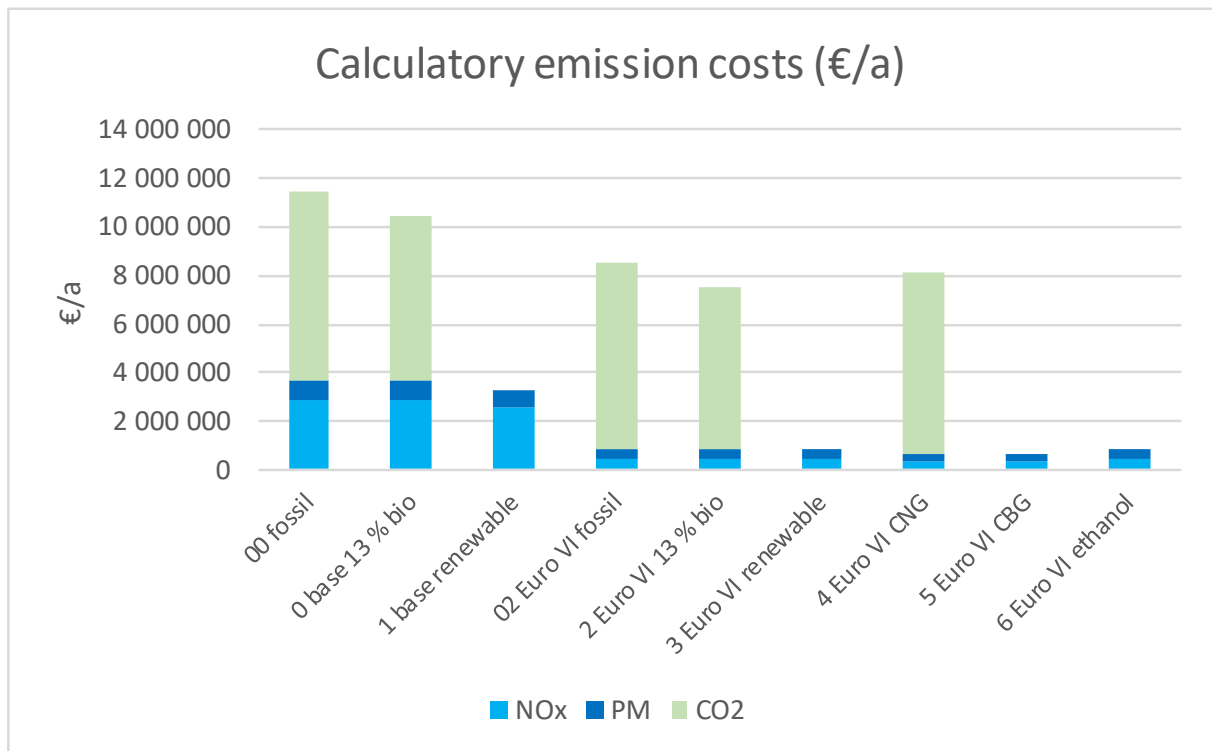
Kuvassa 7.4 on säänneltyjen päästöjen ($\text{NO}_x + \text{PM}$) laskennallinen haitta, ja kuvassa 7.5 yhdistetty ($\text{NO}_x + \text{PM} + \text{CO}_2$) päästöhaitta (direktiiviin 2009/33/EY perustuen).

Olemassa olevalla kalustolla säänneltyjen päästöjen haitta-arvo on 3,7...3,2 M€/a. Uusitu-
valla dieselillä saavutettavan päästövähennyksen arvo NO_x - ja PM -päästöjen osalta on n.
0,5 M€/a. Siirryttäessä Euro VI-kalustoon, päästöhaitta laskee tasolle 0,9...0,7 M€/a, eli suu-
ruusluokkaisesti 80 %.

Laskennallinen kokonaishaitta vaihtelee voimakkaasti, 11,4...0,7 M€/a. Fossiilisilla polttoai-
neilla säänneltyjen päästöjen osuus on 8...35 % kokonaishaitasta, biopolttoaineilla 100 %.
Huonoimpaan mahdolliseen tilanteeseen verrattuna (nykykalusto fossiilisella polttoaineella),
päästöhaittaa voidaan parhaimmillaan alentaa 10,7 M€/a tasolle 0,7 M€/a uudistamalla ka-
lusto ja käyttämällä biopolttoainetta (biokaasukäyttöiset Euro VI-kaasuautot). Sähköbusseilla
laskennallinen päästöhaitta on nolla, eli parannusta parhaimpaan polttomoottorivaihtoehtoon
n. 0,7 M€/a.



Kuva 7.4. Säänneltyjen päästöjen ($\text{NO}_x + \text{PM}$) laskennallinen haitta.



Kuva 7.5. Päästöjen ($\text{NO}_x + \text{PM} + \text{CO}_2$) yhdistetty laskennallinen haitta (biopolttoaineilla CO_2 -haitta nolla).

7.2.2 Staran kalusto

Staran kaluston laskennan osalta prosessi oli seuraava:

- Laskenta kohdistui dieselkäyttöiseen raskaaseen työkone- ja kuorma-autokalustoon. Kuorma-autoja oli 110 kpl ja erilaisia työkoneita 276 kpl. Kuorma-autoissa on usein erilaisia työtehtäviin tarkoitettuja lisälaitteita. Seuraavassa sekä kuorma-autoja että työkoneita kutsutaan joko kalustoksi tai koneeksi.
- Kalustosta oli käytettävissä 72 %:n osalta konekohtainen kulutus vuodelta 2016. Niille koneille, joilta kulutus puuttui, käytettiin sen konetyypin keskiarvokulutusta.
- Kustakin koneesta oli tiedossa käyttöönottovuosi. Tähän perustuen määritettiin kullekin koneelle pakokaasupäästöhyväksymisen Euro- ja Stage-taso.
- Päästökertoimet (NO_x , hiukkaset) määritettiin kulutusta kohden (g/litra) käyttäen VTT:n työkonemallin TYKO:n lukemia varsinaisten työkoneiden osalta ja VTT:n LI-PASTO-laskentajärjestelmän tuloksia kuorma-autojen osalta. Näin saatiin määritettyä litrakohtaiset päästökertoimet kullekin Euro- ja Stage-tasolle.
- polttoainearvoina (lämpöarvo, tiheys, ominais- CO_2 -päästö) käytettiin bussikaluston tapaan JEC:in arvoja
- kauppalaatuisen dieselpolttoaineen oletettiin sisältävän 13 % biokomponenttia (energiaosuus)
 - biokomponentin oletetaan laskevan loppukäytön CO_2 -päästöä 13 %, muttei vaikuttavan NO_x - tai PM-päästöön
- uusiutuvan dieselin oletetaan laskevan NO_x -päästöä 10 % ja PM-päästöä 30 % Euro II – Euro V -ajoneuvoluokissa (ja työkoneiden vastaavissa Stage-luokissa), Euro VI:n osalta oletetaan, ettei polttoaine vaikuta säänneltyihin päästöihin erittäin

alhaisen absoluuttisen päästötason takia (kaikki Euro VI -autot on varustettu sekä hiukkassuodattimella että SCR-ureakatalysaattorilla)

- 100 %:nen biopolttoaine (uusiutuva diesel) lasketaan CO₂:n osalta loppukäytössä nollapäästöiseksi

Päästöt (NO_x, PM, pakoputkesta tuleva CO₂) ja polttoainemäärät laskettiin seuraaville vaihtoehtoilta:

Nykykalusto:

- Vaihtoehto 0: nykyinen Staran kalusto autojen osalta 13 % biokomponenttia sisältävällä kauppalaatuisella dieselpolttoaineella ja työkoneet moottoripolttoöljyllä jossa ei ole biokomponenttia
- Vaihtoehto 1: nykyinen Staran kalusto kokonaisuudessaan 100 %:lla uusiutuvalla dieselpolttoaineella

Kuten bussienkin osalta, päästöjen haitta-arvot laskettiin puhtaiden ja energiatehokkaiden ajoneuvojen edistämistä koskevan direktiivin 2009/33/EY esittämällä metodiikalla, samoilla päästöjen haitta-arvoilla.

Laskenta tehtiin Staran nykyiselle (2017) dieselpolttoaineelle kalustolle. Dieselpolttoainetta (oletus todellisesta bio-osuudesta 13 %) käyttävien autojen lukumäärä on 154, ja vuotuinen polttoainemäärä 0,69 miljoonaa litraa, energiamääränä 25 TJ. Moottoripolttoöljyä käyttäviä dieselkoneita on 232, ja vuotuinen polttoaine on 0,42 miljoonaa litraa, energiana 15 TJ. Oletus on, ettei peruslaatuinen moottoripolttoöljy (MPO) sisällä biokomponenttia.

Taulukossa 7.3 on esitetty Staran dieselkaluston vuotuinen CO₂-päästö (laskenta, jossa biopolttoaineet oletetaan nollapäästöisiksi). Taulukossa 7.4 on vastaavasti CO₂-päästöt koko polttoaineketjun yli tarkasteltuna.

Taulukko 7.3. Staran dieselkaluston CO₂-päästöt eri vaihtoehtoisissa. Oletus on, että vuonna 2017 tieliikennepolttoaineen biokomponentin osuus (energiaosuus) on 13 % ja moottoripolttoöljyn 0 %.

Tekniikkavaihtoehto	CO ₂ (t/a)	Muutos nykytilaan	
		(t/a)	(%)
00 (nykykalusto fossiilisella dieselillä)	2 908	236	+9
• autot	1 817		
• työkoneet	1 091		
0 (nykytilanne)	2 672	0	0
• autot (13 % bioa polttoaineessa)	1 581		
• työkoneet (fossiilinen MPO)	1 091		
1 (nykykalusto 100 %:n biopolttoaineella)	0	2 672	-100
• autot	0		
• työkoneet	0		

Taulukko 7.4. Koko polttoaineketjun CO₂-päästöt.

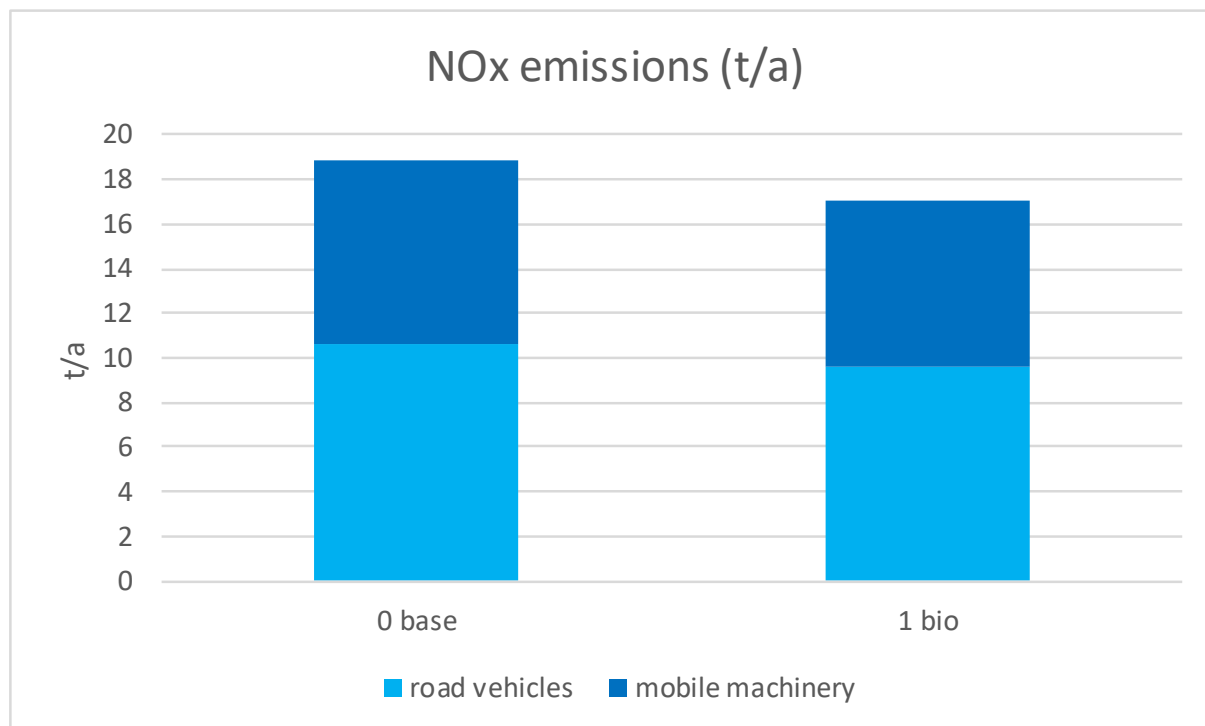
Vaihtoehto	Energia (TJ)	WTT (t CO ₂)	TTW (t CO ₂)	WTW (t CO ₂)	Muutos WTW (%)
00 (nykykalusto fossiilisella dieselillä)	40	612	2 908	3 520	+7
• autot	25	382	1 817	2 200	
• työkoneet	15	230	1 091	1 321	
0 (nykytilanne)	40	615	2 672	3 287	0
• autot (13 % bioa polttoaineessa)	25	385	1 581	1 966	
• työkoneet (fossiilinen MPO)	15	230	1 091	1 321	
1 (nykykalusto 100 %:n biopolttoaineella)	40	648	0	648	-80
• autot	25	405	0	405	
• työkoneet	15	243	0	243	

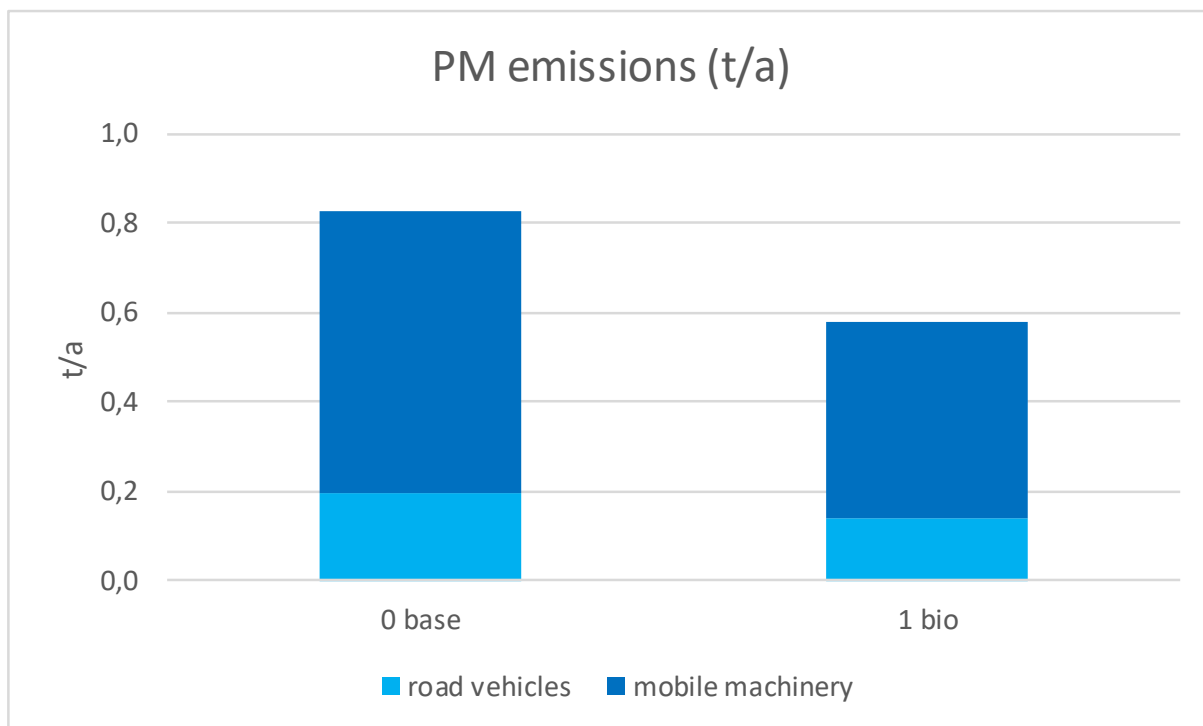
Vastaavasti kuin bussikaluston osalta, siirtymisellä 100 %:n biopolttoaineisiin vähentäisi well-to-wheel CO₂-päästöä nykytilanteeseen verrattuna 80 % (82 % jos vertailukohtana olisi 100 %:n fossiilinen polttoaine).

Kuvissa 7.6 (NO_x) ja 7.7 (PM) on Staran dieselkaluston vuotuiset päästöt.

Staran tapauksessa säänneltyjen päästöjen haitta-arvo on 250.000...310.000 M€/a. Suhteessa käytettyyn polttoainemäärään luku on korkeampi kuin bussikalustolla, johtuen Staran kaluston korkeammista ominaispäästökertoimista (nykyisellä bussikalustolla n. 0,1 €/l polttoainetta ja Staran kalustolla lähes kolminkertainen, n. 0,28 €/l).

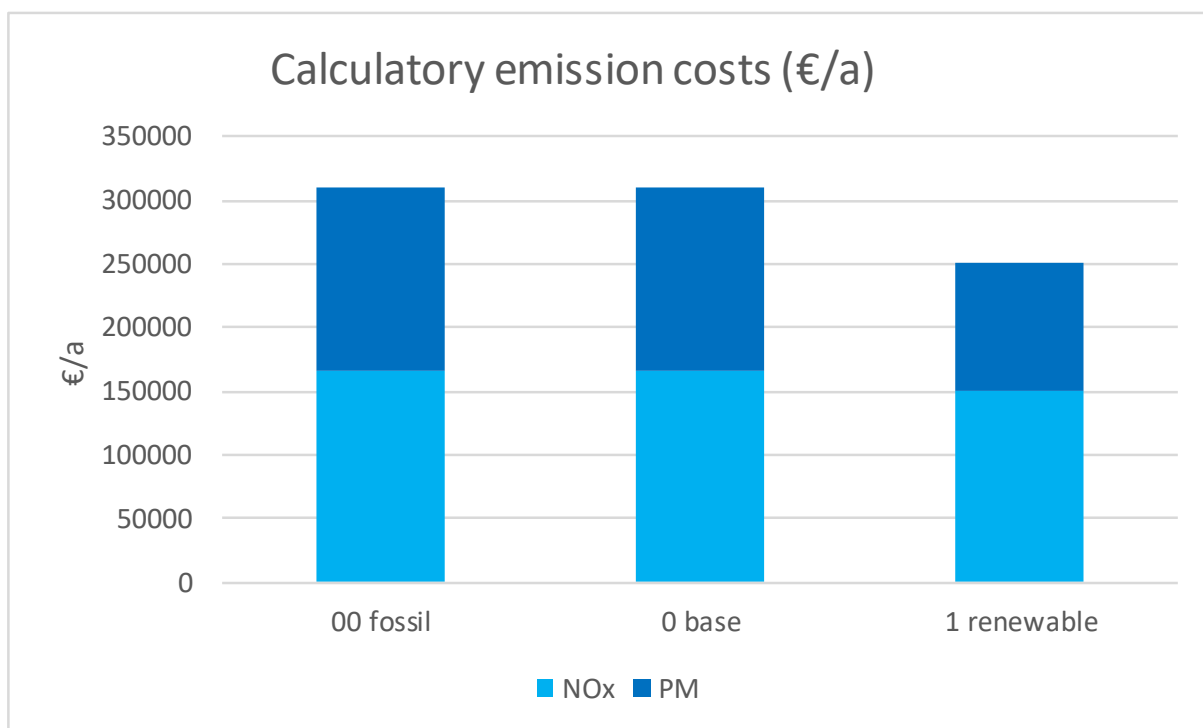
Uusiutuvalla dieselillä saavutettavan päästövähennyksen arvo NO_x- ja PM -päästöjen osalta on Staran tapauksessa n. 50.000 €/a. Kokonaishaitta (CO₂ + NO_x + PM) noin puolittuu siirryttäessä uusiutuvaan dieseliin (nykytilanteessa n. 525.000 €/a, uusiutuvaa dieseliä käytettäessä n. 250.000 €/a).

Kuva 7.6. Staran dieselkaluston vuosittainen NO_x-päästö kahdessa vaihtoehdoissa.

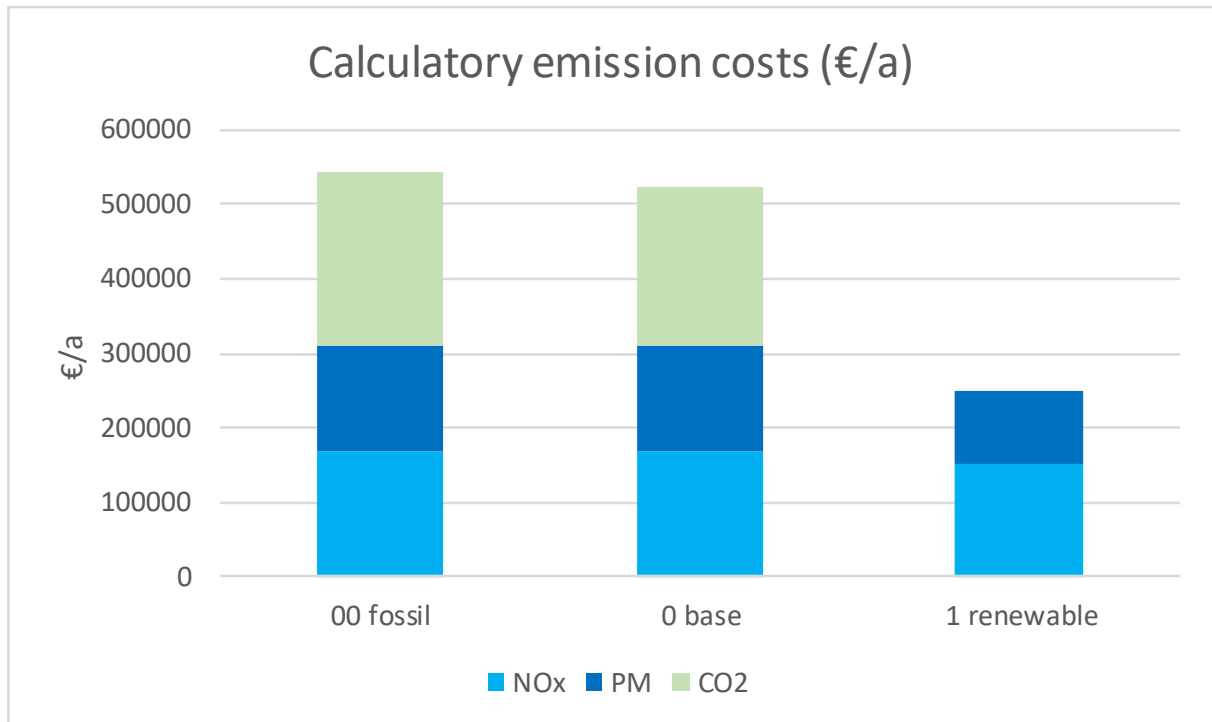


Kuva 7.7. Staran dieselkaluston vuosittainen PM-päästö kahdessa vaihtoehtoissa.

Kuvassa 7.8 on säänneltyjen päästöjen ($\text{NO}_x + \text{PM}$) laskennallinen haitta, ja kuvassa 7.9 yhdistetty ($\text{NO}_x + \text{PM} + \text{CO}_2$) päästöhaitta.



Kuva 7.8. Säänneltyjen päästöjen ($\text{NO}_x + \text{PM}$) laskennallinen haitta.



Kuva 7.9. Päästöjen (NO_x + PM + CO₂) yhdistetty laskennallinen haitta. (biopolttoaineilla CO₂-haitta nolla).

7.3 Kustannustarkastelut (bussikalusto)

7.3.1 Yleistä

Korkean pitoisuuden biopolttoaineiden kohdennetulla käytöllä voi olla mm. seuraavan laisia kustannusvaikutuksia:

- polttoainekustannusten nousu (fossiilinen vs. uusiutuva polttoaine)
- heijastumat polttoaineen jakelulogistiikkaan ja –kustannuksiin
- heijastumat polttoaineen laatuvaatimuksiin (esim. kylmäominaisuuksien varmistaminen)
- heijastumat auto- ja työkonekaluston teknisiin spesifikaatioihin
- laskennallisten päästökustannusten alentuminen

Biopolttoaineiden eri käyttötavoista voidaan tehdä mm. seuraavat yleiset havainnot:

- polttoaineen käyttötapa ei vaikuta CO₂ päästöön, absoluuttinen biomäärä ratkaisee, kohdistaminen ei tässä suhteessa tuo lisäetuja
- parafiininen diesel tuo etuja lähipäästöihin, mutta uusimmissa busseissa (Euro VI) vaikutus on marginaalinen, päästöedut korostuvat vanhemmassa bussi-, kuorma-auto- ja työkonekalustossa
- todellisten päästöhyötyjen kvantifiointia hankaloittaa se tosiseikka, että päästöjen arvottamisessa EU-metodiikassa huomioidaan ainoastaan säänneltyt päästöt ja CO₂
 - esim. parafiininen dieselpolttoaine alentaa kaikkein haitallisimpia ei-säänneltyjä pakokaasukomponentteja enemmän kuin säänneltyjä päästöjä
 - parafiininen korkealaatuinen dieselpolttoaine kuormittaa lisäksi pakokaasujen jälkikäsittelylaitteistoja vähemmän kuin tavanomainen dieselpolttoaine, tämäkin hyöty on vaikeasti arvotettavissa

- biopolttoaineiden (ja myös sähköbussien) käyttö voisi lisätä joukkoliikenteen haluttavuutta, ja myös tätä kautta voi syntyä etuja
- jos julkinen toimija, tässä tapauksessa niin HSL kuin Stara, velvoitetaan laskemaan CO₂-päästöjä, bussikaluston tai Staran kaluston puitteissa voidaan miettiä sitä, mikä on kustannustehokkain tapa CO₂-päästöjen vähentämiseen

Kustannuksiin vaikuttaa mm.:

- ajoneuvokalusto
 - Euro VI -dieselmotoksesta ei lisähintaa, sekä kaasuo- että etanolioautot ovat dieselautoja kalliimpia, TCO (Total Cost of Ownership) laskelmissa huomioidaan myös esim. huollon tarve ja sen muutokset
- infrastruktuuri
 - uusiutuvan dieselin osalta parhaimmillaan ei lisäkustannuksia, jos kokonainen varikko siirtyy käyttämään uusiutuvaa dieseliä
 - joissakin tapauksissa tarvitaan uusi säiliö (10 - 30 m³) ja jakelumittari
 - dieseletanolille (ED95) tarvitaan oma nestemäisen polttoaineen jakelujärjestelmä (joka ei juurikaan ole dieseljärjestelmää kalliimpi)
 - maa/biokaasu tarvitsee erityisen paineistetun kaasun tankkausjärjestelmän
 - ylimääräisiä logistiikkakustannuksia syntyy ainakin silloin, jos varikoille joudutaan toimittamaan useita polttoainelaatuja (esim. sekä fossiilista että uusiutuvaa dieseliä)
- polttoaineen hinta
 - biopolttoaineet ovat pääsääntöisesti fossiilisia vaihtoehtoja kalliimpia
 - verotuskäytännöistä johtuen kaasumaisten polttoaineiden pumppuhinnat ovat edullisemmat kuin nestemäisten polttoaineiden hinnat
 - polttoainekustannuksiin vaikuttavat niin polttoaineen hinta (energi hinta) kuin ajoneuvon energian kulutus (kaasuautoilla korkeampi kuin dieselautoilla)

Selvityksessä kustannuksia tarkasteltiin kolmesta eri lähtökohdasta:

- päästöjen laskennallinen haittakustannus (kohta 7.2)
- TCO (total cost of ownership) kustannukset (kilometrikustannus) ajoneuvon tasolla käyttäen nykyisiä polttoaineiden hintoja (ml. valmisteverot mutta ilman arvonlisävero)
- tekniikka- ja polttoaineskenaarioiden vaikutukset aluetalouteen alueellisen tasapainomallin avulla (ei selostettu nyt käsillä olevassa raportissa)

Tarkastelut tehtiin bussikalustoon painottuen. Staran koko polttoaineen kulutus on suuruusluokkaisesti 2 miljoona litraa/a (bensini, diesel ja moottoripolttoöljy yhteensä), bussiliikenteen lähes 40 miljoona litraa/a.

7.3.2 Bussikaluston TCO

Bussikaluston TCO laskelmissa, jotka tuottavat kilometrikustannuksia eri tekniikkavaihtoehtoilte, huomioitiin seuraavat tekijät (perusolettamukset, tilanne 2017):

- ajoneuvon hinta (kaksiakselinen bussi, ALV 0 %)
 - dieselauto 230.000 €
 - etanolioauto 230.000 €²²
 - kaasuauto 270.000 €²³

²² Scanian Jonas Strömberg ilmoitti marraskuussa 2017, että Euro VI etanolioauto on samanhintainen kuin Euro VI dieselauto

²³https://www.rolandberger.com/en/Publications/pub_integrated_fuels_and_vehicles_road-map_2030.html

- pitoaika 16 vuotta HSL:n korkeimman sallitun iän mukaan
- jäännösarvo 0 € 16 vuoden jälkeen
- korkokanta 4 %
- vuotuinen ajosuorite 80.000...120.000 km/a
- polttoaineen kulutus VTT:n bussitietokannan perusteella (Braunschweig-ajosykli)
- polttoaineen hinta (perustuen verollisiin pumppuhintoihin marraskuussa 2017, laskennassa käytetty valmisteverollisia polttoainehintoja ilman ALV)
 - normaali dieselpolttoaine 1,30 €/l (1,048 €/l ALV 0 %)
 - uusiutuva diesel 1,45 €/l (1,169 €/l ALV 0 %)
 - dieseletanoli (ED95) 0,76 €/l²⁴ (0,615 €/l ALV 0 %, vastaa tavanomaisen dieselin energiahintaa)
 - maakaasu 0,75 €/l bensiiniekvivalentti (0,605 €/l ALV 0 %)
 - biokaasu 0,93 €/l bensiiniekvivalentti (0,748 €/l ALV 0 %)
- urean kulutus kauppalaatuisella dieselillä 5 % polttoaineen kulutuksesta, tästä lasketaan energian kulutukseen suhteutettu urean kulutus uusiutuvalle dieselille ja etanolille, kaasuautoilla urean kulutus nolla
- urean hinta 0,62 €/l (0,5 €/l ALV 0 %)
- huoltokustannus (arviolukuja, tarkkaa tilastoitua tietoa ei ole käytettävissä)
 - diesel 0,15 €/km
 - dieseletanoli 0,175 €/km (korkeampi kuin dieselillä)
 - kaasu 0,20 €/km (korkeampi kuin dieselillä)

Polttoaineiden hintoja vertailtaessa on huomioitava, että kaasumaisia polttoaineita verotetaan lievemmin kuin nestemäisiä polttoaineita. Biokaasusta ei tällä hetkellä kanneta lainkaan valmisteveroja.

Voimassa oleva biopolttoaineiden jakeluvelvoite tarkoittaa sitä, ettei eri polttoaineiden pumppuhinnoista voi vetää suoria johtopäätöksiä biopolttoaineiden todellisista hinnoista. Jakelijat ovat velvoitettuja toimittamaan markkinoille tietyn määrän biopolttoaineita, ja toimijoiden omassa päätäntävallassa on mm. se, miten velvoite kohdistetaan eri polttoaineisiin ja jakelupisteisiin.

Yllä olevista vuoden 2017 hinnoista ei siten voi suoraan vetää esimerkiksi sitä johtopäätöstä, että 100 %:n uusiutuva diesel olisi todellisuudessa vain 0,15 €/l kalliimpaa kuin tavanomainen diesel, joka sekin sisältää tietyn määrän biokomponenttia. Polttoaineiden hinnan muodostusta on selostettu raportissa ”Tieliikenteen 40 %:n hiilidioksidipäästöjen vähentäminen vuoteen 2030: Käyttövoimavaihtoehdot ja niiden kansantaloudelliset vaikutukset - Vuoden 2016 päivitysraportti maaliskuu 2017”²⁵. Sipilä et al. arvioivat 2018, että uusiutuvan dieselin (HVO) veroton hinta on luokkaa kaksinkertainen verrattuna tavanomaiseen dieselpolttoaineeseen (1070 vs. 550 €/t)²⁶.

Tälläkin hetkellä (maaliskuu 2020), tavanomaisen ja uusiutuvan dieselpolttoaineen hintaero jakelumittarilla on noin 0,15 €/l. Koska toimitaan jakeluvelvoitteen puitteissa, hintaero selittyy toisaalta ylimääräisillä logistiikkakustannuksilla ja toisaalta sillä, että 100 %:sen uusiutuvan kaksoislaskettavan parafiinisen dieselpolttoaineen Suomen polttoaineverojärjestelmän mukainen verotaso on alle EU:n minimiverotason (26,3 snt/l vs. 33 snt/l²⁷). Näin ollen uusiutuvasta dieselpolttoaineesta sellaisenaan kannetaan n. 7 snt/l korkeampi vero kuin saman polttoaineen komponenttikäytöstä.

²⁴ ED95-polttoaine ei ole julkisessa jakelussa, joten sillä ei ole varsinaista pumppuhintaa, St1 ilmoittaa myyvänsä ED95 polttoainetta olemassa oleviin autoihin dieselpolttoaineen energiahinnalla

²⁵http://www.transsmart.fi/files/430/Tieliikenteen_40_hiilidioksidipaastojen_vahentaminen_vuoteen_2030_Vuoden_2016_paivitys_VTT-R-00741-17.pdf

²⁶ https://valtioneuvosto.fi/artikkeli/-/asset_publisher/10616/selvitys-biopolttoaineiden-kustannustehokkaat-toteutuspolut-vuoteen-2030

²⁷https://www.vero.fi/yritykset-ja-yhteisot/tietoa-yritysverotuksesta/valmisteverotus/nestemaiset_polttoaineet/nestemaisien_polttoaineiden_verotauluk/

ED95-polttoaineen osalta tilanne on vieläkin haastavampi. Verotaulukon mukainen vero on 16,68 snt/l, eli ”verosakkoa” muodostuu n. 16 snt/l.

Vanhemman dieselkaluston huoltokustannukset ovat varsin hyvin tiedossa, samaten se, että vanhempien kaasubussien huoltokustannus oli dieselbusseja korkeampi. Euro VI-tasoon mentäessä dieselkalusto monimutkaistuu, mutta kaasuautoihin ei tule merkittäviä muutoksia. Tästä syystä ero huoltokustannuksissa saattaisi jopa kaventua.

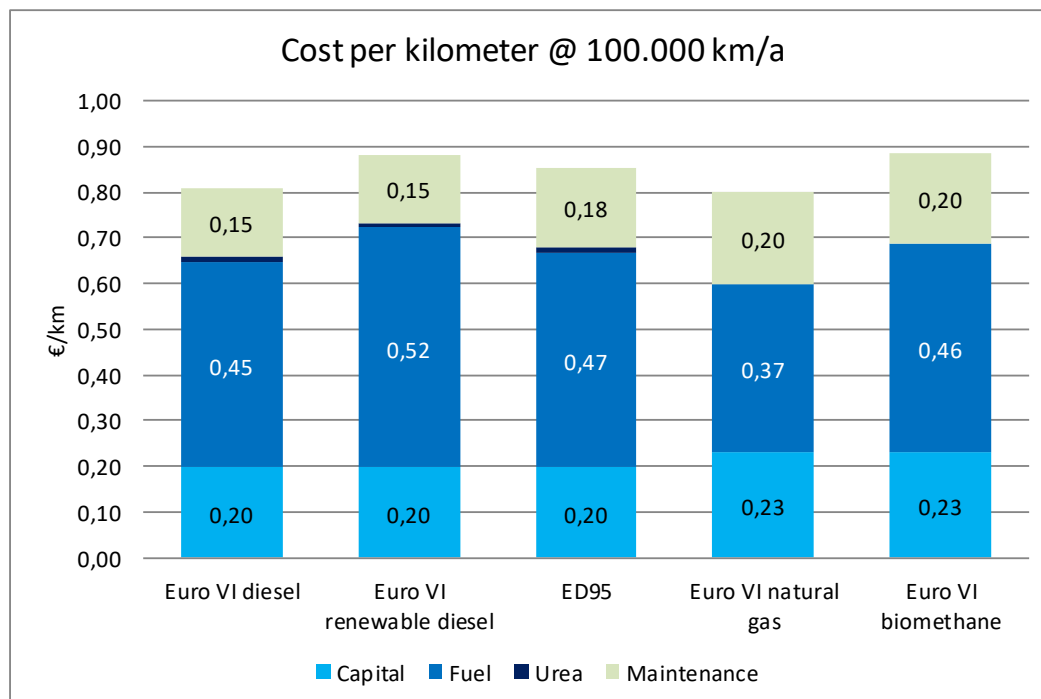
Varsinaisessa selvitysraportissa vertailukohtaksi otettiin mukaan myös sähköbussit. Sähköbussien luvut on otettu julkaisuista Pihlatie et. al. (2014)²⁸ ja Lajunen (2017)²⁹.

Laskennoissa tehtiin myös tiettyjä herkkyystarkasteluja.

TCO-laskelmat on tehty ilman arvonnäkökulmaa, tavallaan liikenteen tuottajan (bussioperaattorin) näkökulmasta.

Perustapaukseksi on otettu 100.000 km:n vuosisuorite. Kuva 7.10 näyttää arvoidun kilometrikustannuksen. Kilometrikustannus asettuu haarukkaan 0,81...0,89 €/km. Käytetyillä laskentaparametreilla maakaasu on niukasti halvin vaihtoehto ja biokaasu kallein. Uusiutuvat vaihtoehdot, uusiutuva diesel, etanoli ja biokaasu asettuvat kuitenkin kaikki hyvin kapeaan haarukkaan, 0,85...0,89 €/km, etanolivaihtoehdon ollessa halvin. Etanolin osalta oletettiin siis, että auto on saman hintainen kuin dieselauto, ja että etanolipolttoaineen energiahinta vastaa kauppalaatuisen dieselpolttoaineen energiahintaa. Välttämättä tällainen polttoaineen hinta ei toteutu laajamittaisessa käytössä, ainakaan ilman EU:n verojärjestelmän muutosta.

Kustannusten prosentuaalinen jakauma on esitetty taulukossa 7.5.



Kuva 7.10. Kilometrikustannus 100.000 km/a suoritteella.

²⁸ M. Pihlatie, S. Kukkonen, T. Halmeaho, V. Karvonen, N.-O. Nylund. (2014). Fully Electric City Buses - The Viable Option. IEEE International Electric Vehicle Conference 2014. Florence, Italy, December 17 – 19, 2014.

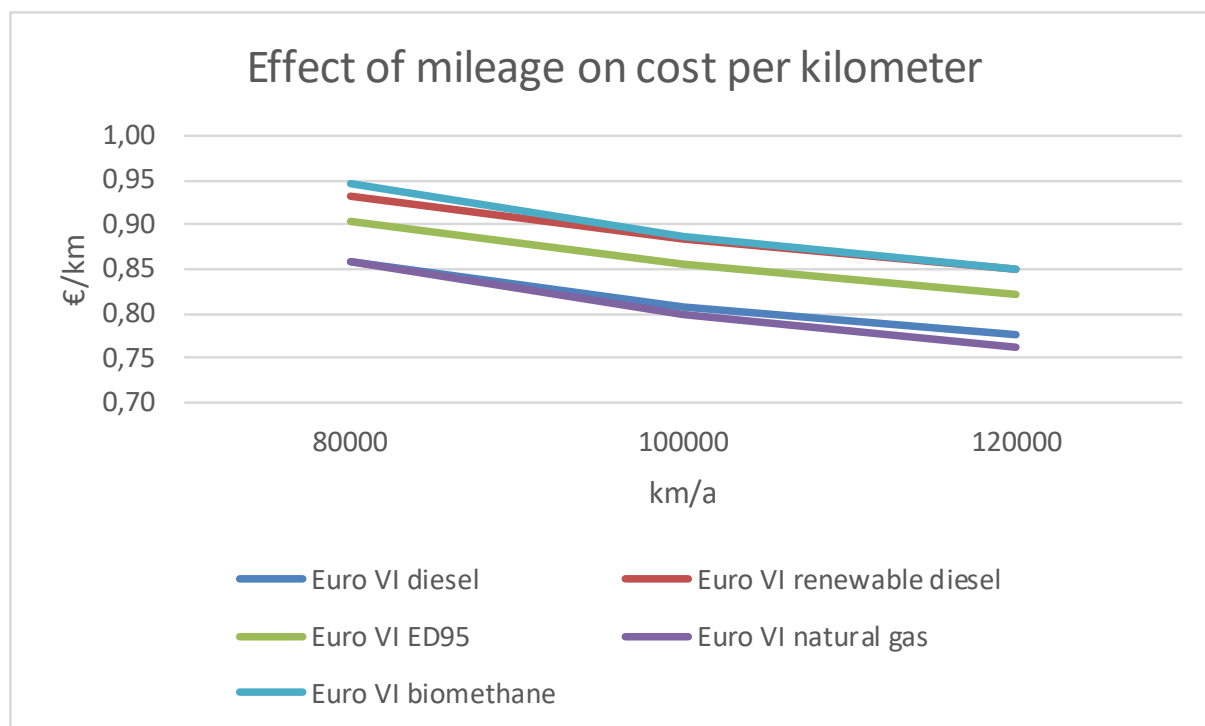
²⁹ Antti Lajunen. Lifecycle costs and charging requirements of electric buses with different charging methods. Journal of Cleaner Production 172 (2018) 56e67.

Taulukko 7.5. Kustannusten suhteellinen jakauma ja kokonaiskustannus suhteutettuna kauppalaatuiseen dieselpolttoaineeseen.

	Pääoma	Polttoaine	Urea	Huolto	Yhteensä	Yht. suht.
Euro VI diesel	24 %	56 %	1 %	19 %	100 %	100 %
Euro VI uusiutuva diesel	22 %	59 %	1 %	17 %	100 %	109 %
ED95	23 %	55 %	1 %	20 %	100 %	106 %
Euro VI maakaasu	29 %	46 %	0 %	25 %	100 %	99 %
Euro VI biokaasu	26 %	51 %	0 %	23 %	100 %	110 %

Polttoaine on suurin kuluerä, sen osuus on 46...59 %. Pääoman osuus on 22...29 %, ja huollon osuus 17...25 %. Suhteellisten lukujen osalta pääomakustannus ja huoltokustannus ovat suurimmillaan ja polttoainekustannus pienimmillään maakaasulla. Suhteellinen polttoainekustannus taas on suurimmillaan uusiutuvalla dieselillä.

Kuvassa 7.11 on esitetty vuosittaisen ajosuorituksen vaikutus kilometrikustannukseen. Suorituksen nosto pienentää pääomakustannuksen suhteellista osuutta, ja vaikutus on näin ollen suurin muista autotyypejä kalliimpien kaasuautojen osalta.



Kuva 7.11. Suorituksen vaikutus kilometrikustannukseen.

Maakaasu on edullisin vaihtoehto, mutta maakaasu ei vähennä CO₂-päästöjä. Well-to-wheel-tarkastelussa maakaasu tuottaa kaikkein korkeimmat CO₂-päästöt.

Herkkyystarkastelu uusiutuvan dieselpolttoaineen osalta

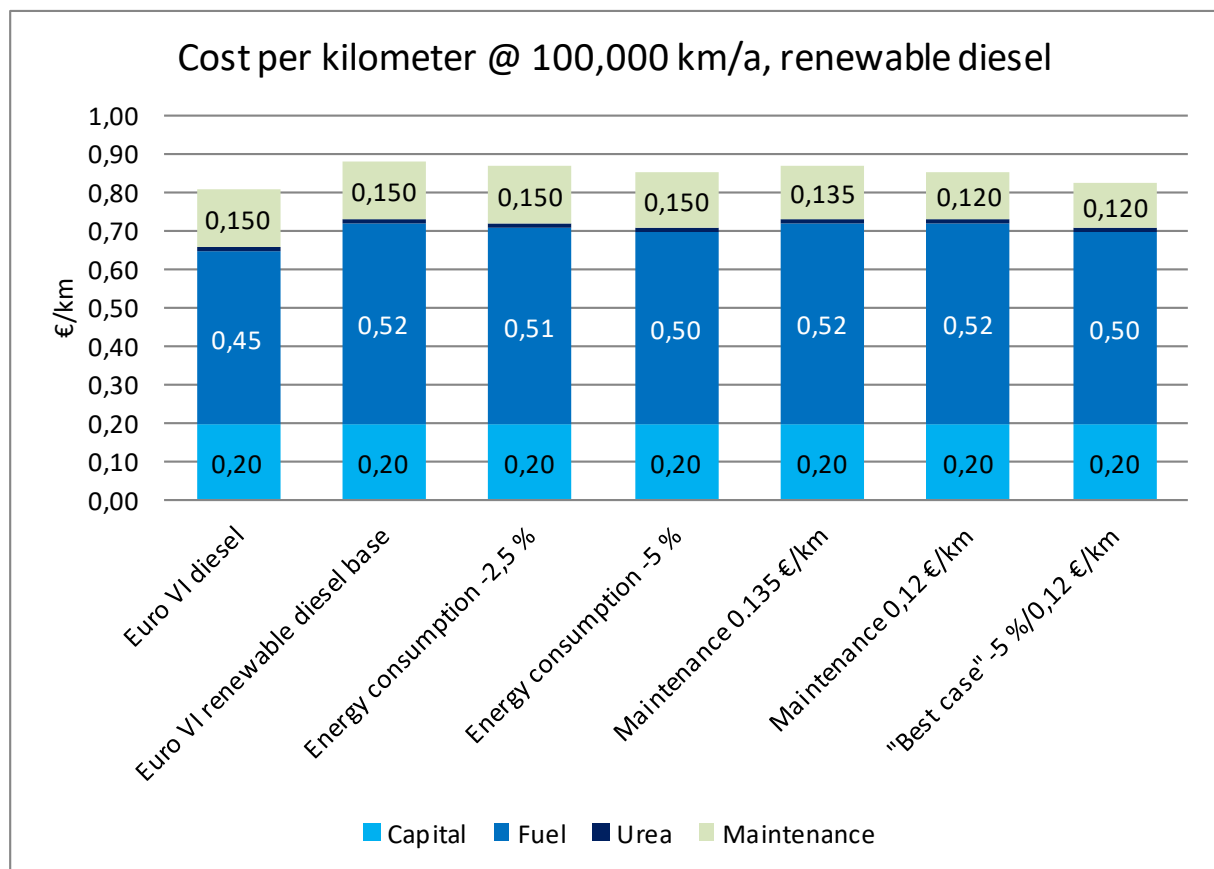
Uusiutuvaa parafiinista polttoainetta käyttävä moottori voidaan optimoida tälle polttoaineelle energian kulutuksen pienentämiseksi. Pettisen et. al. (2017)³⁰ mukaan kirjallisuudessa on raportoitu jopa 7,5 %:n polttoaineen kulutuksen lasku optimoinnin avulla. Useimmiten potentiaaliksi ilmoitetaan kuitenkin 4...5 %.

Parafiininen diesel palaa todistetusti puhtaammin kuin tavanomainen dieselpolttoaine. Tämä näkyy mm. pienentyneinä hiukkas- ja hiilivetypäästöinä. Hiukkassuodattimen regenerointi pakokaasun lämpötilaa nostamalla lisää hetkellisesti polttoaineen kulutusta. Jos regenerointiväli pitenee pienemmän hiukkaskuormituksen ansiosta, tämä vaikuttaa polttoaineen kulutusta laskevasti.

Oletusarvo on myös, että parafiininen polttoaine rasittaa moottoriöljyä vähemmän kuin perinteinen dieselpolttoaine, ja että tuhkan kertyminen hiukkassuodattimeen on normaalia vähäisempää.

Herkkyystarkastelu tehtiin sekä polttoaineen kulutukselle (energian kulutus -2,5 ja -5 % perustilanteeseen verrattuna) että huoltokustannuksille (perusoletus 0,15 €/km, tarkasteltu myös 0,12 ja 0,135 €/km). Perustapauksessa on oletettu, ettei uusiutuva diesel vaikuta energian kulutukseen tai huoltokustannuksiin.

Uusiutuvan dieselin osalta tehty herkkyystarkastelu on esitetty kuvassa 7.12.



Kuva 7.12. Herkkyystarkastelu uusiutuvalla dieselpolttoaineelle (energian kulutus ja huoltokustannus).

³⁰ Rasmus Pettinen, Timo Murtonen and Petri Söderena (2017). Performance Assessment of Various Paraffinic Diesel Fuels. VTT's contribution to IEA Advanced Motor Fuels Annex 52, "Fuels for efficiency". http://www.iea-amf.org/content/projects/map_projects/52

Perustapauksessa kilometrikustannus on Euro VI autolla kauppalaatuisella dieselpolttoaineella 0,81 €/km ja uusiutuvalla dieselillä 0,88 €/km. 5 %:n parannus hyötysuhteeseen alentaisi kilometrikustannusta 0,02 €/km. Jos huoltokustannus alenisi 0,03 €/km, vaikutus olisi yhteensä 0,05 €/km ("best case"). Ero kauppalaatuiseen dieseliin olisi tällöin enää 0,02 €/km.

7.4 Kustannus/hyötytarkastelu

Kustannuksia on syytä verrata laskennallisiin päästöhyötyihin. TCO-laskelmat on tehty ALV 0 % -periaatteella, niin kuin bussioperaattori normaalisti tekee. Yhteiskunnallisia vaikutuksia kustannustarkasteluissa on syytä huomioida myös polttoaineen arvonlisävero, koska viime kädessä arvonlisävero kuitenkin tulee matkustajien maksettavaksi. Tästä syystä alla olevassa kustannus/hyötytarkastelussa on käytetty arvonlisäverollisia pumppuhintoja.

Bussiliikenteen vuotuinen polttoainemäärä oli vuonna 2017 n. 37 miljoonaa litraa kauppalaatuisella dieselillä. Tuolloin ja nytkin uusiutuvan dieselin pumppuhinta on 0,15 €/l korkeampi tavanomaiseen dieselpolttoaineeseen verrattuna, ja litramääräinen kulutus hieman suurempi. Siirtyminen uusiutuvaan dieseliin nykykalustossa lisäisi pumppuhinnoilla laskien polttoainekustannusta n. 8 M€ vuositasolla. Toisaalta laskennallinen CO₂-haitta pienenisi 6,8 M€ (CO₂-haittahinnalla 80 €/t ja olettaen, että kauppalaatuinen diesel sisältää 13 % biokomponenttia) ja lähipäästöhaitta (NO_x + PM) noin 0,4 M€, eli yhteenlaskettu päästöhyöty olisi n. 7,2 M€/a. Näin ollen laskennallinen hyöty on hieman lisäkustannusta pienempi. Vuoden 2017 tilanteessa säänneltyjen päästöjen osuus kokonaishaitasta oli 35 %.

Euro VI-tasoisien dieselkaluston osalta päästöhyöty uusiutuvalla dieselillä rajoittuu CO₂-hyötyyn, tässä tapauksessa 6,7 M€/t, polttoaineen lisäkustannuksen ollessa noin 7,8 M€ (kulutus kauppalaatuisella polttoaineella n. 36 miljoonaa litraa). Ilman lähipäästöetua, ja uusiutuvan dieselin hintalisän ollessa 0,15 €/l, hintalisä ja laskennallinen CO₂-hyöty menisivät tasan CO₂-hinnan ollessa 94 €/t.

TCO-laskelma antaa Euro VI-kalustossa kauppalaatuisen dieselin ja uusiutuvan dieselin kilometrikustannuseroksi 0,09 €/km käytettäessä arvonlisäverollisia hintoja. Tämä kerrottuna suoritteella, 86 miljoonaa km/a, antaa saman lisäkustannuksen, noin 7,8 M€/a, kuin yllä. Herkkyytarkastelussa lasketussa uusituvan dieselin "best case" -tapauksessa kilometrikustannusero on vain 0,03 €/km, ja lisäkustannus vuositasolla tällöin n. 2,5 M€ arvonlisäverollisia polttoainehintoja käytettäessä.

Kuten todettu, kaikki uusiutuvat vaihtoehdot antavat likimain saman kilometrikustannuksen. Koska uusien autojen päästövaatimus on ollut Euro VI vuodesta 2013 lähtien, kaikki uudet autot ovat automaattisesti vähäpäästöisiä säänneltyjen päästöjen osalta. Vaihtoehtoista polttoainetta (uusiutuva diesel, diesel-etanoli, biokaasu) saadaan jatkossa päästöhyötyä ainoastaan CO₂-päästön osalta.

Staran dieselkäyttöiselle kalustolle tässä selvityksessä arvoidut polttoainemäärät ovat 0,69 miljoonaa litraa dieselpolttoainetta ja 0,41 miljoonaa litraa moottoripolttoöljyä vuodessa. Jos Stara siirtyisi käyttämään uusiutuvaa dieseliä, vuosikulutus olisi 1,16 miljoonaa litraa/a.

Vuoden 2017 arvonlisäverollisilla pumppuhinnoilla laskien Staran vuosittainen polttoainelasku (diesel 1,299 €/l, moottoripolttoöljy 1,14 €/l) oli n. 1,4 M€. Päästöjen kokonaishaitta on n. 0,5 M€/a, josta säänneltyjen päästöjen suhteellinen osuus on 59 %, eli selvästi korkeampi kuin bussikaluston kohdalla nykytilanteessa. Jos Stara olisi siirtynyt kokonaan uusiutuvaan dieseliin (tieliikennepolttoaineena verotettuun), polttoainelasku olisi n. 1,7 M€/a, eli nousua n. 0,3 M€/a. Päästöhaitta laskisi vastaavasti vajaa 0,3 M€/a, eli kustannukset ja hyödyt ovat tässä tapauksessa varsin hyvin tasapainossa. Parafiininen uusiutuva diesel laskee Staran tapauksessa NO_x- ja PM-päästöjä suhteessa enemmän bussikalustoon verrattuna, johtuen Staran kaluston korkeista lähipäästöistä.

Varsinaisessa BioSata-hankkeessa oli kaksi johtojatusta:

- biopolttoaineosuuden lisääminen HSL:n tilaamassa bussiliikenteessä ja Staran (Helsingin kaupungin) kalustossa kansallisen biopolttoaineiden jakeluvelvoitelain puitteissa niin, ettei kustannusvaikutus heijastuisi täysmääräisesti pääkaupunkiseudun liikennöintikustannuksiin (muuttamalla biopolttoaineiden allokatiota)
- CO₂-päästöjen ja lähipäästöjen samanaikainen vähentäminen käyttämällä korkeaseosteisia biopolttoaineita kohdennetusti kaupunkiliikenteessä

CO₂-päästöjen kannalta ratkaiseva tekijä on biopolttoaineen kokonaismäärä, ei missä ja millä pitoisuudella biopolttoaine käytetään. CO₂-päästöjen kannalta taseraja on periaatteessa Suomi, sillä Suomi joutuu raportoimaan CO₂-päästönsä Komissiolle. Julkisille toimijoille voidaan toki asettaa tai ne voivat asettaa itse itselleen tavoitteita paikallisella tasolla.

HSL:n tavoitteena on laskea bussiliikenteen CO₂-päästöjä 90 % vuoteen 2025 vertailuvuoden ollessa 2010. Tämän tavoitteen saavuttaminen ei tule onnistumaan ilman korkeaa biopolttoaineosuutta. Bussiliikenteen sähköistys ei millään pysty etenemään niin nopeasti, että sähköbussit pystyisivät kattamaan valtaosan päästövähennystavoitteesta.

Niin kuin edellä todettiin, siirtyminen uusiutuvaan dieseliin busseissa alentaisi lähipäästöhaittaa välittömästi n. 0,4 M€/a. Tämä on ikään kuin bonusta biopolttoaineen kohdennetusta käytöstä. Lähipäästöetu on n. 6 % lisääntyneeseen polttoainekustannukseen (8 M€/a) verrattuna.

Suurin laskennallinen hyöty tulee kuitenkin CO₂-päästöjen vähentymisestä. CO₂-päästövähennä voidaan periaatteessa laskea bussiliikenteen, seudun tai jopa koko Suomen hyödyksi, lähipäästöedun kohdistuessa pääkaupunkiseudulle. Siinä vaiheessa, kun koko bussikalusto on vähäpäästöistä Euro VI -tasoa, polttoaineen vaikutus lähipäästöihin katoaa. Jo vuonna 2017 45 % suoritteesta ajettiin Euro VI -kalustolla.

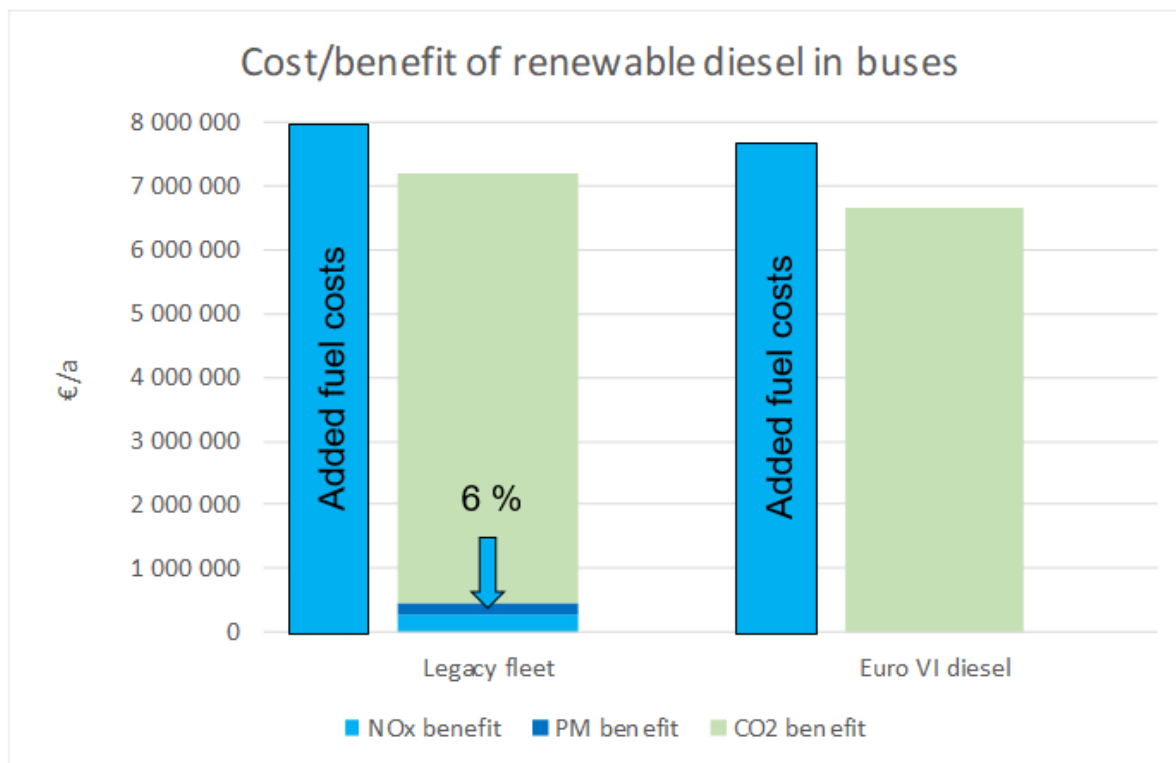
Staran kaluston suhteellinen päästötaso on korkeampi busseihin verrattuna. Staran kaluston lähipäästöjen voidaan lisäksi olettaa vähentyvän hitaammin bussiliikenteeseen verrattuna. Näin ollen uusiutuvan dieselin kohdennetusta käytöstä on periaatteessa enemmän hyötyä Staran kalustossa kuin bussikalustossa.

Staran kalustossa siirtyminen uusiutuvaan dieseliin alentaisi lähipäästöhaittaa välittömästi n. 60.000 €/a. Lähipäästöetu on Staran tapauksessa n. 20 % verrattuna lisääntyneeseen polttoainekustannukseen (n. 300.000 €/a) verrattuna. Tässä pitää ottaa huomioon, että kustannuksia lisää myös siirtyminen työkoneissa alemmin verotetusta moottoripolttoöljystä enemmän verotettuun tieliikennepolttoaineeseen. Jos työkonekalustossa käytettäisiin nykyisinkin tieliikennepolttoainetta, lisäkustannus uusiutuvaan dieseliin siirtymisestä olisi n. 240.000 €/a, ja lähipäästöetu tähän summaan verrattuna tasolla 25 %.

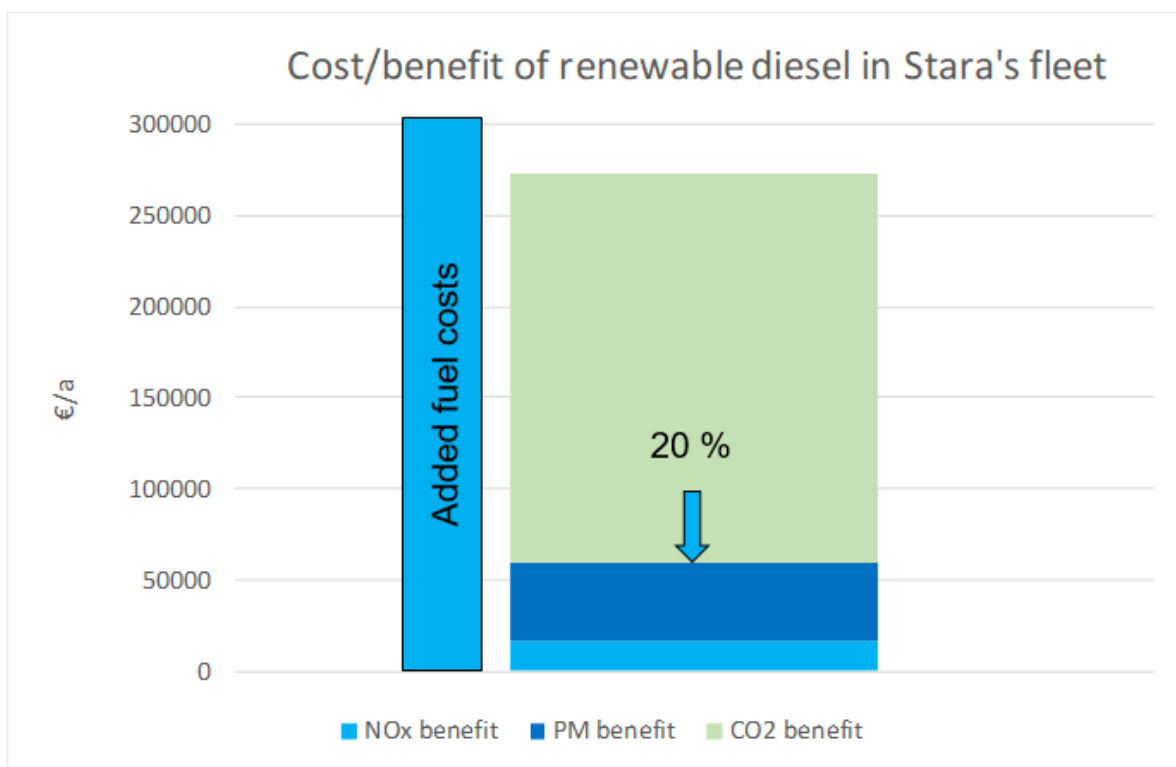
Yhteenvetona voidaan todeta, ettei korkeaseosteisten biopolttoaineiden kohdennettu käyttö jatkossa tuo merkittäviä lähipäästöetuja bussikalustossa. Biopolttoaineita tarvitaan kuitenkin jatkossa eneneviä määriä CO₂-päästövähennystavoitteiden saavuttamiseksi.

Staran kaluston osalta tilanne on korkeampien suhteellisten NO_x- ja PM- päästöjen takia hieman toinen. Nykykalustossa saavutettava lähipäästöetu kattaa suuruusluokkaisesti 20...25 % uusiutuvan dieselin lisäkustannuksista.

Kuvissa 7.13 (bussikalusto) ja 7.14 (Staran kalusto) on esitetty päästöhyödyt suhteessa polttoaineen lisälaskuun siirryttäessä uusiutuvan polttoaineen käyttöön. Bussien osalta on kaksi tapausta, nykykalusto ja tilanne, jossa kalusto on 100 %:sesti Euro VI-dieselskalustoa. Staran osalta on tarkasteltu nykykalustoa.



Kuva 7.13. Uusiutuvan dieselin lisäkustannus suhteessa päästöhyötyihin bussikalustossa. Polttoainekustannus laskettu arvonlisäverollisilla vuoden 2017 pumppuhinnoilla.



Kuva 7.14. Uusiutuvan dieselin lisäkustannus suhteessa päästöhyötyihin Staran kalustossa. Polttoainekustannus laskettu arvonlisäverollisilla vuoden 2017 pumppuhinnoilla.

8. Viitekehys

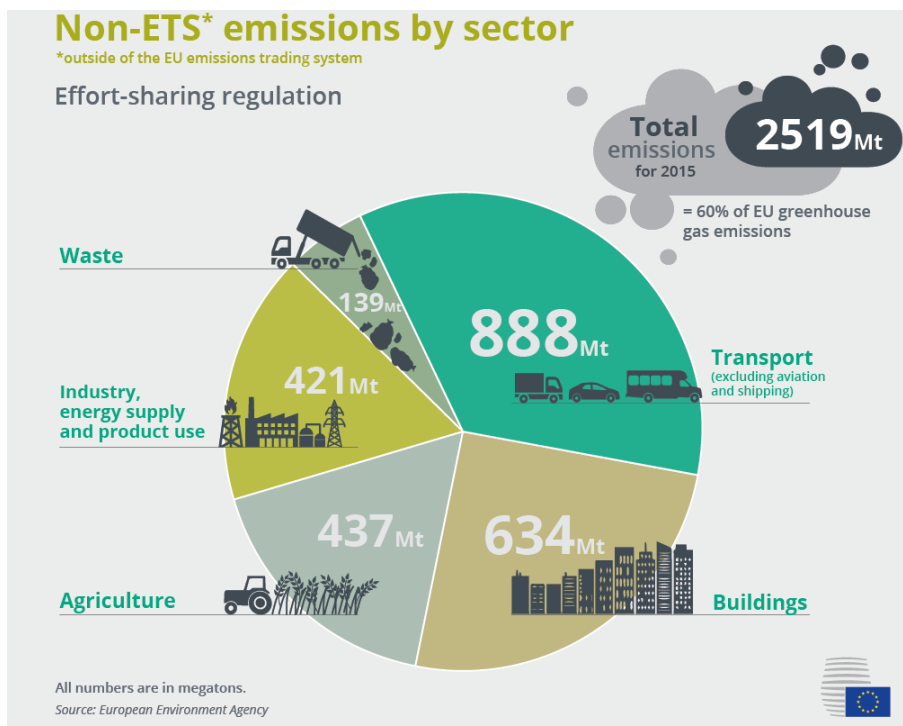
8.1 Yleistä

BioSata-hanke käynnistyi vuoden 2016 alussa. Tuon jälkeen niin EU-tasolla kuin kotimaassakin on tehty merkittäviä biopolttoaineita ja päästövähennyksiä koskevia päätöksiä. Euroopan tasolla biopolttoaineiden kestävydestä käyty keskustelu on aiheuttanut tiettyä epävarmuutta. Vuonna 2015 hyväksyttiin ns. ILUC-direktiivi (EU) 2015/1513³¹, joka tarkensi biopolttoaineiden kestävyyskriteerejä. Uusiutuvan energian edistämistä koskeva direktiivin päivitys (EU) 2018/2001, ns. RED II, vahvistettiin joulukuussa 2018³².

Seuraavassa luetellaan eräitä merkittäviä päätöksiä. Suurin osa näistä puoltaa uusiutuvien polttoaineiden käytön lisäämistä. Lisäksi kommentoidaan lyhyesti Ruotsin tilannetta.

8.2 EU-taso

EU:n päästökaupasektorin ulkopuolisten alojen **päästövähennysten ns. taakanjaosta** sovittiin lopullisesti asetuksella (EU) 2018/842 toukokuussa 2018³³. Päästökaupan ulkopuolella olevat alat ovat liikenne, rakennukset, maatalous, teollisuus ja jätehuolto. Euroopan tasolla liikenne on sektorin suurin päästölähde, kuva 8.1.



Kuva 8.1. Päästökaupan ulkopuolella olevien sektoreiden kasvihuonekaasupäästöt³⁴.

Suomelle on asetettu sitova velvoite vähentää päästöjä 39 % vuoteen 2030 mennessä, vertailuvuoden ollessa 2005. Komission ehdotus taakanjaosta saatiin heinäkuussa 2016. Tämä varsinainen ehdotus ja sitä edeltäneet dokumentit oli jo huomioitu Suomen energia ja ilmastolinjauksia laadittaessa (kts. 8.3).

³¹ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015L1513&from=FI>

³² <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=FI>

³³ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R0842&from=EN>

³⁴ <https://www.consilium.europa.eu/fi/infographics/non-ets-emissions-by-sector/>

EU:n vuoden 2020 energia- ja ilmastopaketissa ja myös alkuperäisessä RED-direktiivissä 2009/28/EY³⁵ liikennesektorille oli asetettu tavoite 10 %:sta uusiutuvaa energiaa vuonna 2020. Vuoden 2030 energia- ja ilmastopaketissa liikenteelle ei ollut erillistä uusiutuvan energiantavoitetta. **Uusi RED II -direktiivi** kuitenkin palautti liikenteelle uusiutuvan energian tavoitteen, 14 % vuonna 2030.

Uusi direktiivi antaa jäsenmaille suuremman vapauden päättää, miten 14 %:n tavoite laskeaan ja miten siihen päästään. Direktiivissä liikenteen biopolttoaineita koskeva osuus noudattelee pitkälti vuonna 2015 saavutettua kompromissia epäsuoran maakäytön (ILUC) muutoksen huomioimisesta biopolttoainepolitiikassa. Kehittyneille biopolttoaineille (Liite IX osa A) uusi direktiivi asettaisi kiihtyvän kansallisen vähimmäistavoitteen, joka olisi 0,2 % vuonna 2022, 1 % vuonna 2025 ja 3,5 % vuonna 2030. Jäterasva- ja öljypohjaisille biopolttoaineille (Liite IX osa B) direktiivi asettaa maakohtaisen 1,7 % enimmäismäärän, johon jäsenmailla on oikeus hakea muutosta Komissiolta perustuen raaka-aineiden saatavuuteen kansallisesti. Nämä liitteen IX osan A ja B mukaiset kehittyneet biopolttoaineet ja biokaasu voidaan laskea kaksinkertaisesti kansalliseen liikenteen uusiutuvan energian tavoitteeseen (ns. tuplalaskenta), mikäli jäsenmaa niin päättää.

Ruokapohjaisten biopolttoaineiden enimmäismäärä ei saa ylittää vuonna 2030 vuoden 2020 toteutunutta ruokapohjaisten biopolttoaineiden osuutta kuin yhden prosenttiyksikön. Tämä osuus saa olla enintään 7 % vuonna 2030. Maissa, joissa vuoden 2020 toteutunut taso jää alle 1 %, voidaan ruokapohjaisten biopolttoaineiden osuus nostaa kuitenkin enintään 2 % tasolle vuonna 2030.

RED II direktiivin mukaan biopolttoaineiden kasvihuonekaasupäästöjen vähenemä tulee olla vähintään 50 % laitoksilla, jotka ovat olleet tuotannossa vuoden 2015 lokakuun 5. päivä. Laitosten, joiden tuotanto on alkanut tämän jälkeen ja ennen vuoden 2021 alkua, tulee saavuttaa vähintään 60 % KHK-päästövähennys. Vuoden 2021 alun jälkeen käynnistyvien laitosten on sen sijaan saavutettava 65 % vähenemä.

Kansallisen 14 % liikenteen uusiutuvan energian tavoitteen laskemiseksi on useita laskentasääntöjä ja jäsenmaille jätettyjä vapauksia. Uuden direktiivin mukaisesti tieliikenteessä kulutettu uusiutuva sähkö voidaan laskea nelikertaisesti ja raideliikenteen uusiutuva sähkö 1,5-kertaisesti suhteessa liikenteen kokonaistavoitteeseen. Lisäksi ilmailuun ja meriliikenteeseen käytetyt ei-ruokapohjaiset biopolttoaineet voidaan laskea 1,2-kertaisesti liikenteen kokonaistavoitteeseen. Maat voivat myös halutessaan sisällyttää "recycled carbon fuels" polttoaineet osaksi kansallisia jakeluvetoja ja laskea ne liikenteen tavoitteeseen, mutta niitä ei huomioida Unionin tason uusiutuvan energian laskennassa. Jäsenmaat voivat myös laskea 14 %:n liikenteen uusiutuvan energian tavoitettaan yhtä suurella prosenttiyksiköllä kuin maiden asettama ruokapohjaisten biopolttoaineiden kansallinen enimmäisraja, joka on alle asetetun 7 %:n. Laskennallisesti siis 14 % liikenteen uusiutuvan energian tavoite voidaan täyttää jäsenmaissa asettamalla vain tuplalaskettavien kehittyneiden biopolttoaineiden 3,5 % tavoite vuodelle 2030 ja kieltämällä kokonaan ruokapohjaiset biopolttoaineet. Edellä mainittu tavoitteiden asettelu toimii vain, jos ruokapohjaisten biopolttoaineiden osuus vuonna 2020 on ollut 7 %. Siinä tapauksessa muita keinoja ei siis laskentasääntöjen puitteissa tarvittaisi $(14 \% - 7 \% = 7 \% = 2 \times 3,5 \%)$ ²⁶.

Niissä jäsenmaissa joissa on korkea tavoite taakanjakosektorin päästöjen vähentämisessä, mukaan lukien Suomi, päästövähennystavoitteet ohjaavat voimakkaammin biopolttoaineiden käyttöön kuin itse RED II -direktiivi.

Puhtaiden ja energiatehokkaiden tieliikenteen moottoriajoneuvojen edistämisestä koskeva direktiivi uudistui perusteellisesti kesäkuussa 2019. Alkuperäinen direktiivi, 2009/33/EY²¹,

³⁵ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=FI>

edellytti ajoneuvojen elinkaarenaikaisten energia- ja ympäristövaikutusten laskentaa, mukaan lukien energiankulutuksen ja hiilidioksidipäästöt ja tietyt epäpuhtauksia aiheuttavat päästöt, ja ajoneuvojen valintaa näiden yhteenlaskettujen kustannusten perusteella. Direktiivi, joka koski julkisen sektorin ajoneuvohankintoja, ei mitenkään huomionut uusiutuvien polttoaineiden käyttöä.

Uudistettu direktiivi (EU) 2019/1161³⁶ on laajennettu koskemaan sekä julkisen sektorin ajoneuvohankintoja että palveluiden hankintaa. Direktiivin piiriin kuuluvat palvelut on esitetty taulukossa 8.1.

Taulukko 8.1. Direktiivin (EU) 2019/1161 piiriin kuuluvat palvelut.

CPV-koodi	Kuvaus
60112000-6	Joukkoliikennepalvelut maanteitse
60130000-8	Matkustajien erikoismaantiekuljetukset
60140000-1	Tilausmatkustajaliikenteen palvelut
90511000-2	Jätteiden keruupalvelut
60160000-7	Tieliikenteen postikuljetukset
60161000-4	Pakettien kuljetuspalvelut
64121100-1	Postin jakelupalvelut
64121200-2	Pakettien jakelupalvelut

Julkiset toimijat veloitetaan tiettyihin vähäpäästöisten ajoneuvojen vähimmäisosuuksiin. Henkilö- ja pakettiautojen osalta kriteerinä on autojen hiilidioksidipäästö (pakoputkesta mitattu CO₂-päästö). Raskaiden ajoneuvojen osalta vähäpäästöisiksi ajoneuvoiksi on määriteltä vaihtoehtoisia polttoaineita käyttävät ajoneuvot, vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönottoa koskevan direktiivin 2014/94/EU³⁷ määritelmien mukaisesti. Direktiivi luettelee vaihtoehtoiset polttoaineet seuraavasti:

- sähkö
- vety
- biopolttoaineet, siten kuin ne on määriteltä direktiivin 2009/28/EY 2 artiklan i alakohdassa
- synteettiset ja parafiiniset polttoaineet
- maakaasu, mukaan lukien biometani, kaasumaisessa muodossa (paineistettu maakaasu - CNG) ja nesteytettyssä muodossa (nesteytetty maakaasu - LNG)
- nestekaasu (LPG)

Huomionarvoista on, että direktiivi hyväksyy myös fossiiliset polttoaineet (maakaasu, nestekaasu, synteettiset polttoaineet kuten maakaasupohjainen GTL).

³⁶ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L1161&from=FI>

³⁷ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0094&from=FI>

Tavoiteltavat osuudet vaihtelevat jäsenmaittain ja ajoneuvoluokittain. Taulukossa 8.2 on tavoitteet eräiden maiden, ml. Suomen osalta. Linja-autoissa tavoite on ensi vaiheessa 41 % ja myöhemmin 59 %. Puolet puhtaiden linja-autojen osuutta koskevasta vähimmäistavoitteesta on täytettävä hankkimalla päästöttömiä linja-autoja, käytännössä joko sähkö- tai polttokenno-autoja. Kuorma-autoille tavoiteluvut ovat selvästi alemmat, 9 ja 15 %, eikä näille ole lisävaatimusta nollapäästöisille autoille. Työkoneille ei toistaiseksi ole mitään vaatimuksia.

Taulukko 8.2. Direktiivin (EU) 2019/1661 mukaiset tavoitteet vähäpäästöisille linja- ja kuorma-autoille.

Jäsenvaltio	Kuorma-autot (N ₂ - ja N ₃ -ajoneuvoluokat)		Linja-autot (M ₃ -ajoneuvoluokka) (*)	
	2 päivästä elokuuta 2021 31 päivään joulukuuta 2025	1 päivästä tammikuuta 2026 31 päivään joulukuuta 2030	2 päivästä elokuuta 2021 31 päivään joulukuuta 2025	1 päivästä tammikuuta 2026 31 päivään joulukuuta 2030
Luxemburg	10 %	15 %	45 %	65 %
Ruotsi	10 %	15 %	45 %	65 %
Tanska	10 %	15 %	45 %	65 %
Suomi	9 %	15 %	41 %	59 %
Saksa	10 %	15 %	45 %	65 %

Esim. HSL:n osalta direktiivi edellyttää, että 2. päivä elokuuta 2021 käynnistyvissä uusissa liikennöintisopimuksissa pitää olla yhteensä vähintään 41 % vaihtoehtoisia polttoaineita/energioita käytäviä ajoneuvoja, joista 20,5 %:n pitää olla päästöttömiä autoja, käytännössä sähköbusseja.

Direktiivissä 2019/1161 todetaan:

”Jos hankinnan kohteena olevissa ajoneuvoissa pitää käyttää nestemäisiä biopolttoaineita taikka synteettisiä tai parafiinisiä polttoaineita, hankintaviranomaisten ja hankintayksiköiden on varmistettava pakollisilla sopimuslausekkeilla tai muilla yhtä tehokkailla tavoilla julkisessa hankintamenettelyssä, että kyseisissä ajoneuvoissa käytetään vain tällaisia polttoaineita. Vaikka nämä polttoaineet voivat sisältää polttoaineiden lisäaineita, niin kuin esimerkiksi dieselmoottoreille mukautettu etanolipohjainen polttoaine ED95, niihin ei saisi sekoittaa fossiilisia polttoaineita.”

Direktiivi rajaa pois polttoaineet, joihin liittyy suuria epäsuoran maankäytön muutoksen riskejä ja jotka on tuotettu sellaisista raaka-aineista, joiden tuotantoalue on laajentunut merkittävästi maalle, johon on sitoutunut paljon hiiltä.

Tätä taustaa vastaan voidaan todeta, että BioSata-hanke oli hyvin ajan hermolla, ja tietyllä tavalla valmisteli osallistuneita tahoja tuleviin vaatimuksiin (HSL, kaupungit ja Posti).

8.3 Suomi

EU:n jäsenmaana Suomi joutuu seuraamaan EU:n viitekehystä. Jäsenvaltioilla on kuitenkin tietty liikkumavapaus, ja Suomi onkin liikenteen osalta asettanut itselleen EU:n asettamia määriteltäviä korkeammat tavoitteet sekä CO₂-päästävähennyksille että uusiutuvan energian osuudelle.

Suomalaisen viitekehysten muodostavat mm. seuraavat strategiat ja lait:

- Ilmastolaki³⁸
- Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030 (vuodelta 2016)³⁹
- Antti Rinteen/Sanna Marinin hallitusohjelma 2019⁴⁰
- Suomen kansallinen yhdenmety energia- ja ilmastosuunnitelma 2019⁴¹
- Laki biopolttoaineiden edistämiseksi liikenteessä⁴²
- Laki nestemäisten polttoaineiden valmisteverosta⁴³

Ilmastolaissa sanotaan:

Lain ja sen mukaisen ilmastopolitiikan suunnittelujärjestelmän tavoitteena on:

- 1) varmistaa osaltaan Suomea sitovista sopimuksista sekä Euroopan unionin lainsäädännöstä johtuvien kasvihuonekaasujen vähentämistä ja seurantaa koskevien velvoitteiden täyttyminen;*
- 2) vähentää ihmisen aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä ilmakehään, kansallisin toimin osaltaan hillitä ilmastonmuutosta ja sopeutua siihen.*

Vuoden 2016 energia- ja ilmastostrategiassa ennakoitiin jo tulevaa EU:n taakanjakopäästöä, jossa Suomen tavoitteeksi taakanjakosektorilla tuli -39 % vuoteen 2030 mennessä (vertailuvuosi 2005). Strategiassa asetetaan 50 %:n päästövähennystavoite liikenteelle, ja sitä perusteltiin seuraavasti:

”Liikenteellä on keskeinen merkitys Suomen kansallisten ilmastotavoitteiden saavuttamisessa, sillä liikenne tuottaa Suomessa noin 40 prosenttia taakanjakosektorin kasvihuonekaasupäästöistä. Liikenteen rooli päästöjen vähentämisessä tulee korostumaan myös sen vuoksi, että muilla sektoreilla (esim. maataloudessa) päästöjen vähentäminen on vielä vaikeampaa kuin liikennesektorilla. Siksi liikennesektorilla varaudutaan päästöjen vähentämiseen jopa noin 50 prosentilla vuoteen 2030 mennessä.”

Strategiassa luetellaan seuraavat toimenpiteet liikenteen CO₂-päästöjen vähentämiseksi:

- *Liikennejärjestelmän tehokkuuden parantaminen, ml. uudet palvelut*
- *Ajoneuvojen energiatehokkuuden parantaminen*
- *Liikenteen biopolttoaineiden energiasisällön fyysinen osuus kaikesta tieliikenteeseen myydyistä polttoaineista nostetaan 30 prosenttiin vuoteen 2030 mennessä*
- *Uusien polttoaineiden (kuten kaasu ja vety) jakeluasemaverkosto sekä sähköautojen vaatima latauspisteverkko rakennetaan Suomeen pääsääntöisesti markkinaehtoisesti. Lisäksi arvioidaan kustannustehokkaita keinoja edistää sähköautojen latausverkon ja kaasuautojen tankkausverkon laajentamista huomioon ottaen asiaa pohtineen jakeluinfratyöryhmän suositukset.*
- *Valtion tulee kuitenkin huolehtia siitä, että uusien teknologioiden osuus autokannasta saadaan markkinoiden toimivuuden näkökulmasta riittävälle tasolle. Tavoitteena on, että Suomessa olisi vuonna 2030 yhteensä vähintään 250 000 sähkökäyttöistä autoa (täyssähköautot, vetyautot ja ladattavat hybridit) ja vähintään 50 000 kaasukäyttöistä autoa.*

³⁸ <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150609>

³⁹ <https://tem.fi/energia-ja-ilmastostrategia>

⁴⁰ http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161931/VN_2019_31.pdf?sequence=1&isAllowed=y

⁴¹ <http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161977>

⁴² <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2007/20070446>

⁴³ <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2019/20191554>

Antti Rinteen/Sanna Marinin hallitusohjelmassa pidetään kiinni tavoitteesta puolittaa liikenteen CO₂-päästöt vuoteen 2030 mennessä. Keinovalikoiman osalta on lueteltu mm. seuraavat toimenpiteet (tässä vain joitain esimerkkejä vaihtoehtoihin polttoaineisiin painottuen):

- *Luodaan tiekartta fossiilittomaan liikenteeseen hiilineutraaliustavoitteen mukaisesti, kehitetään mittaristoja ja tehdään käyttövoimauudistus*
- *Mahdollistetaan ajoneuvojen käyttövoimien uudistamista ja ajoneuvokannan asteittaista nollapäästöistymistä*
- *Ohjataan kestävästi tuotettuja nestemäisiä biopolttoaineita erityisesti raskaan liikenteen ja lentoliikenteen käyttöön*
- *Arvioidaan kestävästi tuotettujen biopolttoaineiden riittävyys maantieliikenteessä*
- *Vauhditetaan joukkoliikenteen vähäpäästöisen kaluston käyttöönottoa (EU-puhtausvaatimukset: palveluhankinnoissa 41 prosentin osuus puhtaita ajoneuvoja vuoteen 2025 mennessä ja 59 prosentin osuus vuoteen 2030 mennessä)*
- *Kestävästi tuotettu biokaasu biopolttoaineiden jakeluvervoitteen piiriin*
- *Jatketaan konversiotukea nykytasolla, varmistetaan, että auton käyttövoiman konversiot, jotka mahdollistavat vähäpäästöisemmän liikkumisen, otetaan huomioon niin auto-, ajoneuvo- kuin käyttövoimaverotuksessa*
- *Latausinfrastruktuurin edistämiseksi asetetaan rakennusten energiatehokkuusdirektiivin mukainen kansallinen velvoite rakentaa sähköautojen latausinfrastruktuuri taloyhtiöiden ja liikehuoneistojen suurten remonttien yhteydessä.*
- *Säädetään velvoite huoltoasemaketjuille tarjota tietty määrä sähköautojen latauspalveluita huoltoasemien yhteyteen*
- *Hiilineutraalien synteettisten polttoaineiden pilotointia ja tuotannon käynnistämistä Suomessa edistetään*
- *Tuetaan latausinfra ja biokaasun jakeluverkon laajennuksia hyödyntäen EU:n rahoituspotentiaalia*

Ohjelma painottaa voimakkaasti kiertotaloutta ja esim. biokaasun kehittämistä. Biokaasun saattaminen jakeluvervoitteen piiriin tarkoittaisi käytännössä nyt verottoman biokaasun verolle panoa. Nestemäisten biopolttoaineiden osalta mainitaan erityisesti käyttö raskaassa liikenteessä ja lentoliikenteessä. Uudistettu puhtaiden ja energiatehokkaiden ajoneuvojen edistämistä koskeva direktiivi on huomioitu maininnalla joukkoliikenteen kalustosta. Polttoaineiden osalta on mainittu hiilineutraalit synteettiset polttoaineet, eli ns. sähköpolttoaineet tai Power-to-X (PtX) -polttoaineet.

Suomi toimitti 20.12.2019 Euroopan komissiolle kansallisen integroidun energia- ja ilmastosuunnitelman (NECP). EU:n energiaunionin hallintomalliasetuksen mukaan jäsenvaltioiden tulee toimittaa suunnitelmansa komissiolle vuoden 2019 loppuun mennessä. Komissio arvioi jäsenvaltioiden suunnitelmat vuoden 2020 alkupuolella, ja seuraa niiden avulla EU:n vuoden 2030 energia- ja ilmastotavoitteiden toteutumista. Suunnitelmat ovat myös pohjana, kun komissio valmistelee uuden Green Deal -ohjelmansa mukaisesti 2030 ilmasto- ja energiatavoitteiden tiukentamista⁴⁴.

Suunnitelmassa toistetaan tavoitteet liikenteen uusiutuvalle energialle:

- biopolttoaineiden osuus 30 % vuonna 2030
- 250.000 sähköautoa vuonna 2030
- 50.000 kaasuautoa vuonna 2030

Suomessa biopolttoaineiden jakeluvelvoite tuli voimaan 2008, alkaen vaatimattomasta 2 %:n tasosta⁴⁵. Nyt (2020) voimassa oleva velvoitelaki kattaa vuodet 2011 - 2020 (kuva 8.2).

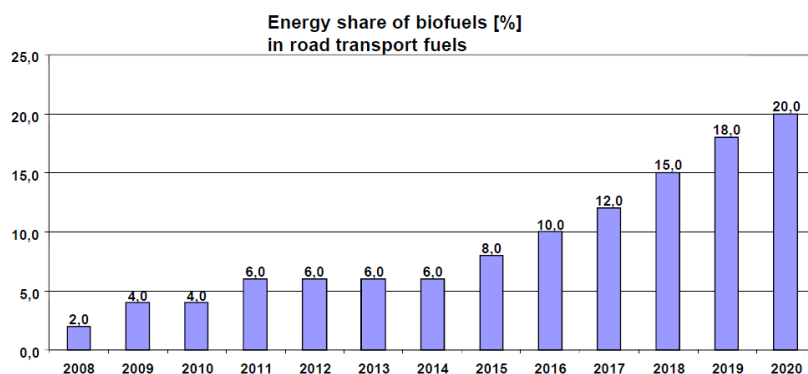
⁴⁴https://valtioneuvosto.fi/artikkeli/-/asset_publisher/1410877/suomen-viimeistelty-energia-ja-ilmasto-suunnitelma-toimitettu-komissiolle

⁴⁵ Saarinen, J. (2013). The Finnish Biofuel Policy. CEN/TC 19 Conference. Helsinki, 27 May 2013.

Tavoite vuodelle 2020 on 20 %, mutta sisältäen ns. tuplalaskennan. Velvoitteeseen sisältyy joustoelementti, eli toimijoilla on mahdollisuus säätää eri vuosille tulevia biopolttoainemääriä, kunhan velvoite täyttyy keskimäärin. Merkittävä osa Suomessa käytetystä biopolttoaineesta on ollut kaksoislaskettavaa, joten todellinen energiaosuus on jäänyt selvästi alle veloitteen nimellistasojen.

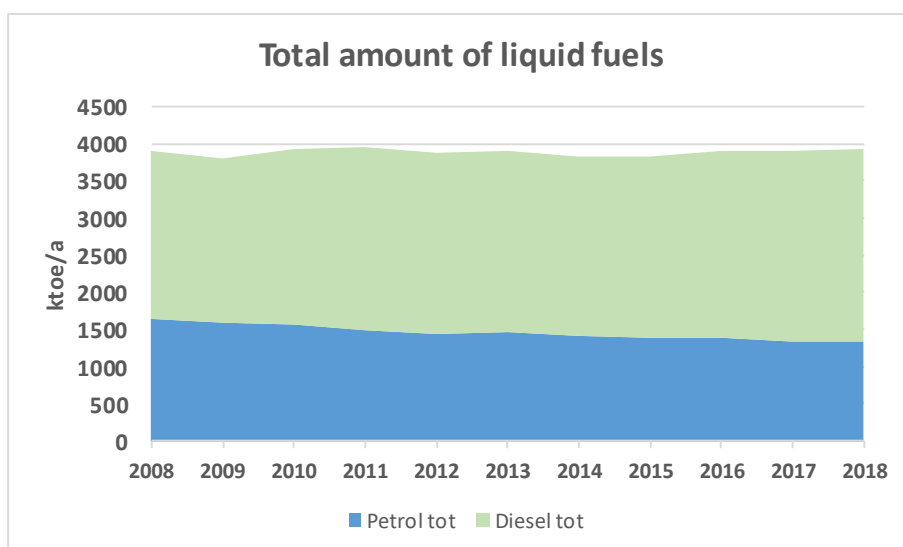
Biofuel obligation

- Came into force in January 2008 and was revised in 2010



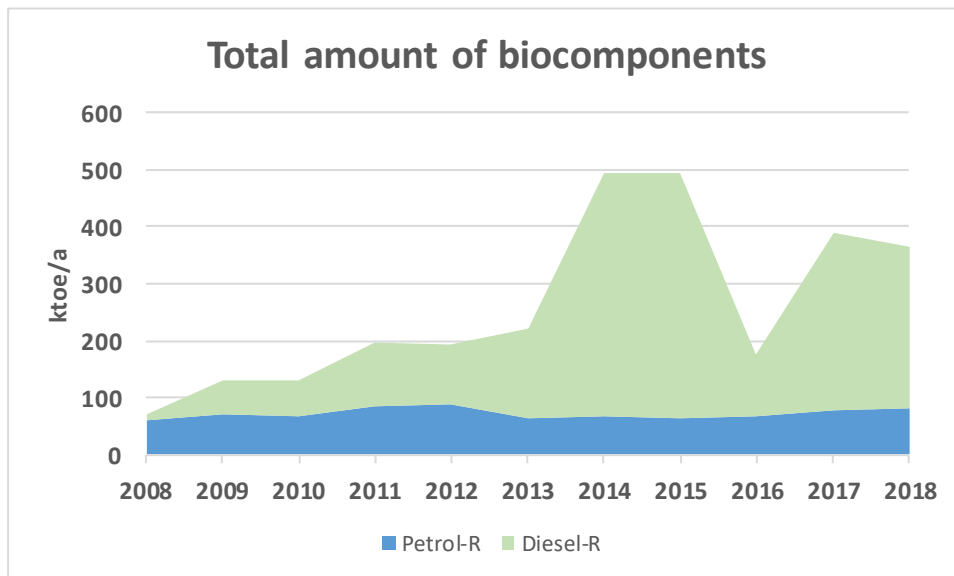
Kuva 8.2. Biopolttoaineen jakeluvelvoite vuosille 2008 - 2020⁴⁵.

Kuvassa 8.3 on tieliikennepolttoaineiden kokonaisvolyymi, kuvassa 8.4 biopolttoaineiden absoluuttimäärät ja kuvassa 8.5 biopolttoaineiden energiaosuus vuosina 2008 - 2018 (2018 on uusin tilastovuosi). Luvut on haettu Tilastokeskuksen energiatilastoista⁴⁶.

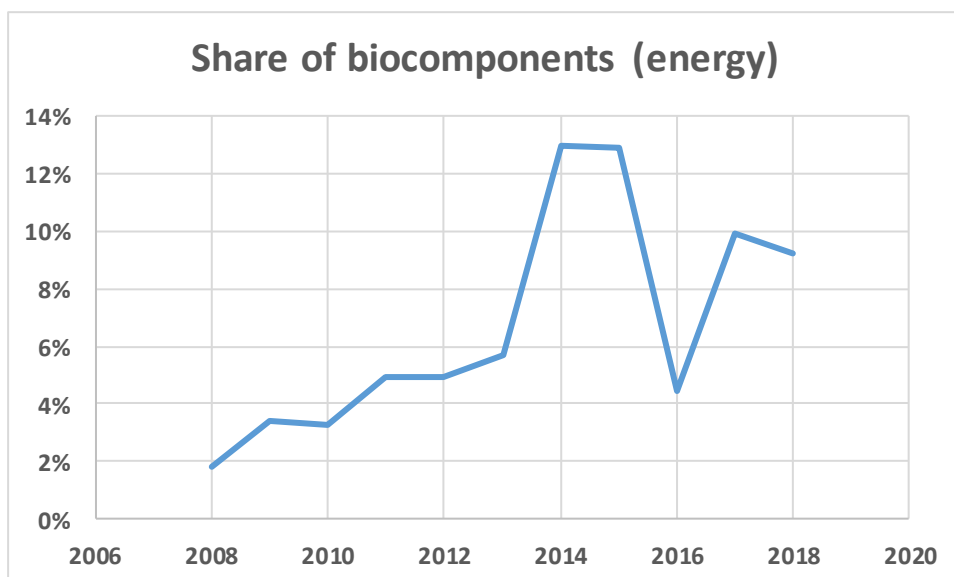


Kuva 8.3. Tieliikennepolttoaineiden kokonaisvolyymi 2008 - 2018 (sisältäen biokomponentit). Luvut Tilastokeskus.

⁴⁶ http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ene__ehk/statfin_ehk_pxt_011_fi.px/



Kuva 8.4. Biopolttoaineiden kokonaisvolyymi 2008 - 2018. Luvut Tilastokeskus.



Kuva 8.5. Biokomponenttien yhteenlaskettu energiaosuus tieliikennepolttoaineissa. Luvut Tilastokeskus.

Kuvasta 8.3 nähdään, että tieliikennepolttoaineiden kokonaiskulutus on pysynyt käytännössä vakiona aikajaksolla 2008 - 2018. Jaksolla dieselin suhteellinen osuus on kasvanut (58 -> 66 %), ja bensiinin vastaavasti vähentynyt (42 -> 34 %).

Koko jaksolla bensiiniä korvaavien biokomponenttien (lähinnä etanolin) määrä on ollut suhteellisen vakio, 60 - 90 ktoe/a, ja biokomponenttien osuus bensiinissä on ollut 4 - 6 %. Dieselä korvaavien biokomponenttien määrä sen sijaan on vaihdellut erittäin voimakkaasti, 10 - 430 ktoe/a, ja biokomponenttien osuus dieselissä on ollut 0 - 18 %. Tähänastiset huippuvuodet olivat 2014 ja 2015.

Valtioneuvoston kanslia teetti vuonna 2018 biovelvoitelain päivitystä ajatellen selvityksen "Biopolttoaineiden kustannustehokkaat toteutuspolut vuoteen 2030"²⁶. Selvitys päättyi tukemaan energia- ja ilmastostrategian näkemystä siitä, että Suomi tarvitsee 2030 luokkaa 30 % biopolttoaineita saavuttaakseen tieliikenteessä 50 %:n päästövähennemän. Biopolttoaineen

jakeluvelvoitelaki uudistettiin keväällä 2019. Uudistettu jakeluvelvoite koskee ajanjaksoa 2021 - 2029 (ja periaatteessa myös 2029 jälkeistä aikaa), ja vuoden 2029 tavoite on nyt 30 %. Ns. tuplalaskenta poistuu, koska uudistettu laki tähtää nimenomaan päästövähennyksiin.

Biopolttoaineen osuus nousee portaittain:

- 18,0 prosenttia vuonna 2021;
- 19,5 prosenttia vuonna 2022;
- 21,0 prosenttia vuonna 2023;
- 22,5 prosenttia vuonna 2024;
- 24,0 prosenttia vuonna 2025;
- 25,5 prosenttia vuonna 2026;
- 27,0 prosenttia vuonna 2027;
- 28,5 prosenttia vuonna 2028;
- 30,0 prosenttia vuonna 2029 ja sen jälkeen

Kaksoislaskennan poistumisen takia vuoden 2021 tavoite (18 %) on matalampi kuin vuoden 2020 tavoite (20 % huomioiden kaksoislaskennan). Tämän perusteella voidaan olettaa, että todellisissa määrissä tulee hypähdys vuodesta 2020 vuoteen 2021.

Toisaalta, koska ruokapohjaisten biopolttoaineiden taso jäädytetään vuoden 2020 tasolle (vuoden 2020 todellinen toteutuma + yksi prosenttiyksikkö, kuitenkin enimmillään 7 %), toimijat saattavat lisätä perinteisten biokomponenttien käyttöä vuonna 2020 taatakseen joustovaraa mentäessä kohti vuotta 2030 (kts. 8.2).

Uutena elementtinä Suomen jakeluvelvoitteessa on nyt alatavoite edistyksellisille biopolttoaineille. RED II -direktiivin Annex IX A -luettelon raaka-aineista tuotettujen tai valmistettujen biopolttoaineiden osuuden tulee olla (lisävelvoite):

- 2,0 prosenttiyksikköä vuosina 2021–2023;
- 4,0 prosenttiyksikköä vuosina 2024 ja 2025;
- 6,0 prosenttiyksikköä vuosina 2026 ja 2027;
- 8,0 prosenttiyksikköä vuonna 2028;
- 9,0 prosenttiyksikköä vuonna 2029;
- 10,0 prosenttiyksikköä vuonna 2030 ja sen jälkeen.

Vuonna 2030 jakeluun pitää siis toimittaa vähintään 30 % biopolttoaineita, ja tästä kolmanneksen (10 % polttoaineiden kokonaismäärästä) tulee olla ns. edistyksellisiä biopolttoaineita.

Jakeluvelvoitteen noudattamatta jättämisestä on määrätty seuraamusmaksu, jonka suuruus on 0,04 euroa megajoulelta. Öljykvivalentitonnilta (41 868 MJ) tämä tarkoittaa noin 1675 €/toe. Jos seuraamusmaksu muutetaan CO₂-hinnaksi, luku on noin 550 €/t CO₂.

Samassa yhteydessä kuin tieliikennepolttoaineiden biovelvoite uusittiin, säädettiin myös laki polttoöljyn biovelvoitteesta⁴⁷. Velvoite on 3 % vuonna 2021, nousten 10 %:iin vuonna 2028 (ja siitä eteenpäin).

Nestemäisten polttoaineiden valmisteverosta annettua lakia muutettiin lailla 1399/2010 vuoden 2011 alusta siten, että polttoaineiden litrapohjainen valmistevero muutettiin polttoaineen energiasisältöön eli lämpöarvoon perustuvaksi energiasisältöveroksi sekä poltosta syntyvään hiilidioksidin ominaispäästöön perustuvaksi hiilidioksidiveroksi^{48,49}.

⁴⁷ <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2019/20190418>

⁴⁸ <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2010/20101399>

⁴⁹ Parkkonen, L. (2013). Taxation of petroleum products and vehicles in Finland. CEN/TC 19 Conference. Helsinki, 27 May 2013.

EU:n säännöt eivät salli velvoitteiden ja veronhelpotusten samanaikaista käyttöä. Niinpä verojärjestelmä suunniteltiin biopolttoaineiden kannalta edulliseksi mutta kuitenkin sellaiseksi, että se voidaan tulkita objektiiviseksi ja tekniikkaneutraaliksi.

Aikaisempi pelkästään tilavuuteen perustuva verotus oli erityisen epäoikeudenmukainen etanolille, jonka litramääräinen lämpöarvo on noin 65 % bensiinin lämpöarvosta.

Parafiiniselle dieselpolttoaineelle annettiin 0,05 €/l veronalennus (laatuporrastus) sillä perusteella, että parafiininen polttoaine vähentää lähipäästöjä (NO_x ja PM) tavanomaiseen dieselpolttoaineeseen verrattuna. Laatuporrastuksen suuruus perustui Euro III -tasoisissa busseissa saavutettavaan päästöhyötyyn. Lain perusteluissa todettiin, että tämä hyöty tulee ajan myötä poistumaan dieselajoneuvojen päästöhallintajärjestelmien kehittyessä, viimeistään vuoteen 2020 mennessä.

Hiilidioksidivero perustuu elinkaaritarkasteluun ja vertailuun fossiiliseen bensiiniin ja fossiiliseen dieselpolttoaineeseen. Kiinnokehtana on alkuperäinen direktiivi 2009/28/EY (RED) uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä⁵⁰.

Jos biokomponentti ei täytä minimi kestävyyskriteerejä, sitä verotetaan CO₂:n osalta kuten vastaavaa fossiilista tuotetta. Minimikriteerit täyttävän biokomponentin osalta CO₂-veroa alennetaan 50 %, ja tuplalaskennan piirin kuuluvista komponenteista ei kanneta lainkaan CO₂-veroa. CO₂-vero suhteutetaan polttoaineen lämpöarvoon.

Taulukossa 8.1 on ote voimassa olevasta (maaliskuu 2020) polttoaineverotaulukosta⁵⁰.

Tavanomaisen fossiilisen dieselpolttoaineen kokonaisvero on 53,02 snt/l, selvästi yli EU:n edellyttämän minimin, 33,00 snt/l. Parafiiniselle (P) tuplalaskettavalle (T) uusiutuvalla dieselpolttoaineelle litramääräinen vero on 26,30 snt/l, eli alle EU-minimin. Verotaulukon mukaista veroa voidaan soveltaa komponenttikäytössä, jos lopputuotteen vero on vähintään 33 snt/l. Jos parafiinista tuplalaskettavaa uusiutuvaa dieseliä myydään sellaisenaan, siitä peritään EU:n asettama minimivero, 33,00 snt/l (kts. 7.3.2).

Tilanne on vieläkin haastavampi tuplalaskettavan ED95 etanolidieselin osalta, jolle verotaulukko antaa kokonaisveroksi 16,68 snt/l, koska tästä polttoaineesta menee aina EU:n minimivero (komponentti/seoskäyttö ei ole mahdollista).

Polttoaineveroja tullaan nostamaan 1. elokuuta 2020 alkaen⁴³. Tavanomaisen dieselpolttoaineen kokonaisvero on jatkossa 59,48 snt/l ja parafiinisen tuplalaskettavan uusiutuvan dieselpolttoaineen 28,00 snt/l. Keskusteluissa on lisäksi ollut parafiinisen dieselpolttoaineen laatuporrastuksen (5,00 snt/l) poisto, mutta tästä ei toistaiseksi ole päätöstä⁵¹.

Biometaani/biokaasu on toistaiseksi ainoa polttoainevaihtoehto, josta ei kanneta energiaveroa. Jos biokaasu otettaisiin biopolttoaineiden jakeluvetoitteen piiriin, se edellyttäisi EU:n sääntöjen mukaan biokaasun verottamista.

Taulukossa 8.2 on avattu dieselpolttoaineen pumppuhinnan rakennetta voimassa olevilla veroilla. Laskelma on suuntaa antava. Tavallisen EN590-polttoaineen veroton hinta on säädetty niin, että pumppuhinnaksi tulee 1,35 €/l. HVO:n verottomana hintana on käytetty arviota 1500 €/t (ensimmäisen vuosineljänneksen 2020 keskimääräinen hinta⁵²). Tässä on oletettu, että jakelukustannus sisältyy hintaan.

⁵⁰ https://www.vero.fi/yritykset-ja-yhteisot/tietoa-yritysverotuksesta/valmisteverotus/nestemaiset_polttoaineet/nestemaisien_polttoaineiden_verotaulukko/

⁵¹ <https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/JulkaisuMetatieto/Documents/EDK-2019-AK-275037.pdf>

⁵² <https://www.neste.com/fi/konserni/sijoittajat/materiaaliarkisto> (Q1/2020)

Taulukko 8.1. Voimassa oleva (maaliskuu 2020) polttoaineverotaulukko⁵⁰.

		Energiasisältövero	CO2-vero	Huoltovarmuusm.	Yhteensä
Etanolidiesel snt/l	47	15,18	11,65	0,35	27,18
Etanolidiesel R snt/l	48	15,18	6,40	0,35	21,93
Etanolidiesel T snt/l	49	15,18	1,15	0,35	16,68
Dieselöljy snt/l	50	32,77	19,90	0,35	53,02
Dieselöljy para snt/l	51	25,95	18,79	0,35	45,09
Biodieselöljy snt/l	52	30,04	18,24	0,35	48,63
Biodieselöljy R snt/l	53	30,04	9,12	0,35	39,51
Biodieselöljy T snt/l	54	30,04	0,00	0,35	30,39
Biodieselöljy P snt/l	55	25,95	18,79	0,35	45,09
Biodieselöljy P R snt/l	56	25,95	9,40	0,35	35,70
Biodieselöljy P T snt/l	57	25,95	0,00	0,35	26,30

Tämän laskelman mukaan HVO:n veroton litrahinta on noin 2,1-kertainen tavalliseen diesel-polttoaineeseen verrattuna. Verojärjestelmä tasaa hintaeroa siten, että ero verollisessa pumppuhinnassa on 1,4-kertainen (tässä huomioitu EU:n määräämä 0,33 €/l miniverotaso). Jakeluvälvoitteen piirissä toimittaessa hintalisä on 0,15 - 0,20 €/l, yllä olevan laskelman mukaan "todellinen" hintaero olisi tasaolla 0,50 €/l.

Taulukkoon on myös sisällytetty arvio siitä, mikä olisi HVO:n pumppuhinta ilman energiaveroja. Tässä tapauksessa HVO olisi silti n. 0,10 €/l tavanomaista dieselpolttoainetta kalliimpaa.

Taulukko 8.2. Dieselpolttoaineen pumppuhinnan rakenne.

		EN590	HVO	Hintasuhde	HVO veroton
Veroton hinta	€/t	670	1500		1500
Tiheys	kg/m3	832	780		780
Veroton hinta	€/l	0,56	1,17	2,1	1,17
Energiasisältövero	€/l	0,3277	0,2595		0
CO2 vero	€/l	0,1990	0		0
Huoltovarmuusmaksu	€/l	0,0035	0,0035		0
EU-verominimilisa	€/l	0	0,067		0
Energiaverot yhteensä	€/l	0,5302	0,33		0
Yhteensä	€/l	1,0876	1,5000		1,1700
ALV	€/l	0,2610	0,3600		0,2808
Pumppuhinta	€/l	1,35	1,86	1,4	1,45

Alkuvuodesta 2020 tiedotusvälineissä käytiin keskustelua siitä, vähentääkö 100 %:sen biopolttoaineen, lähinnä uusiutuvan dieselpolttoaineen käyttö kasvihuonekaasupäästöjä⁵³.

Taustalla on biopolttoainevelvoite. 100 %:sena myytävä uusiutuva dieselpolttoaine lasketaan jakeluvelvoitteen piiriin, ja jos toimija myy tietyn määrän 100 %:sta uusiutuvaa polttoainetta, se on pois jostakin muusta kohteesta, ts. komponenttikäytöstä.

Neste Oy:n yhteiskuntasuhdejohtaja Ilkka Räsänen totesi Helsingin Sanomille 21.1.2020: *"Kyllä se näin toimii, ettei tällä hetkellä myydä yli jakeluvelvoitteen."*

Valitsemalla 100 %:sen biopolttoaineen yksittäinen toimija, kaupunki, liikenteen tilaaja tai liikenneoperaattori voi tietenkin vaikuttaa oman toimintansa kasvihuonekaasupäästöihin ja päästötaseeseen, mutta totta on, että biopolttoaineen kohdentaminen ei jakeluvelvoitteen puitteissa lisää biopolttoainemääriä.

Kohdennetusta biopolttoaineiden käytöstä on toki hyötyä lähipäästöjen kannalta, vanhemmassa autokalustossa ja työkoneissa uusiutuva dieselpolttoaine vähentää NO_x- ja PM -päästöjä (kts. esim. kohta 7.2).

8.4 Ruotsi

Ruotsissa on käytössä jakeluvelvoitteeseen verrattavissa oleva järjestelmä, "Reduktionsplikt", joka perustuu polttoaineiden CO₂-intensiiteettiin⁵⁴. CO₂-intensiiteetti lasketaan well-to-wheel periaatteella koko polttoaineketjun yli. Periaate huomioi siis sen, että eri biokomponenttien CO₂-intensiiteetissä on eroja. Mitä "parempi" biokomponentti, sitä vähemmän sitä fyysisesti tarvitaan tietyn päästövähennyksen saavuttamiseksi. Vertailukohteina ovat täysin fossiiliset polttoaineet.

Vähennysprosentit vuodelle 2020 ovat täysin fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna bensiinille 4,2 % ja dieselpolttoaineelle 21 %⁵⁵. "Reduktionsplikt" koskee suoraan bensiiniä ja dieselpolttoainetta korvaavia tuotteita, ts. normaalit EN-polttoainestandardit täyttävää bensiiniä ja dieselpolttoainetta, joita myös verotetaan normaaliin tapaan.

Korkeaseosteiset biopolttoaineet, esimerkkeinä E85, ED95, HVO100, B100 ja biometaani, eivät kuulu "Reduktionsplikt"-järjestelmän piiriin, ja ovat toistaiseksi verottomia. Verottomuudesta on kuitenkin päätös vain vuoden 2020 loppuun saakka. Verottomuus edellyttää aina Komission notifiointia ja Komission hyväksyntää.

Ruotsin järjestelmä ei ole yhtä selväpiirteinen kuin suomalainen jakeluvelvoitteen ja objektiivisen verojärjestelmän yhdistelmä. Niinpä Ruotsilla on ollut tiettyjä haasteita järjestelmänsä hyväksyttämisessä Komissiossa.

Ruotsin järjestelmällä on kuitenkin hyvät puolensa. Reduktionsplikt-järjestelmän well-to-wheel ajattelu takaa varmemmin kasvihuonekaasuvähenemistä kuin Suomen jakeluvelvoitejärjestelmä, joka perustuu energiasuuteen. Tosin uudistettu jakeluvelvoite edistyksellisten biopolttoaineiden alataivoitteineen vie kehitystä oikeaan suuntaan.

Ruotsin järjestelmä myös tarkoittaa sitä, että markkinoille verohelpotusten avulla tuodut korkeaseosteiset biopolttoaineet aidosti lisäävät biopolttoainemääriä.

⁵³ <https://www.hs.fi/talous/art-2000006379007.html>

⁵⁴ <http://www.energimyndigheten.se/fornbyart/hallbarhetskriterier/reduktionsplikt/>

⁵⁵ <https://spbi.se/faktakommentar-reduktionsplikten-2/>

9. Eri toimijoiden strategiat, tilanne uusiutuvien polttoaineiden osalta sekä jatkotoimenpiteet

9.1 Yleistä

Alun perin tilaaja/operaattori-osapuolina BioSata-hankkeessa olivat mukana HSL ja Stara. Kolme uutta osapuolta liittyi hankkeeseen 2018 (suluissa ohjausryhmään kutsuttu henkilö):

- Espoon kaupunki (Kari Sirviö)
- Vantaan kaupunki (Kaj Weckström)
- Posti (2018 Pekka Koskinen, 2019-> Vesa Tavi)

Näin ollen tavoite siitä, että BioSata-esimerkki leviäisi muihin kaupunkeihin ja muihin toimijoihin toteutui.

Tässä kappaleessa esitellään lyhyesti eri toimijoiden strategiat, ajoneuvokalustot, toteutunut biopolttoaineiden käyttö sekä mahdolliset jatkotoimenpiteet.

9.2 HSL

Helsingin seudun liikenne (HSL) on kuntayhtymä, joka tarjoaa houkuttelevaa ja tehokasta joukkoliikennettä sekä kehittää yhteistyössä toimivaa liikkumisen kokonaisuutta.

HSL:n jäsenkuntia ovat Helsinki, Espoo, Vantaa, Kauniainen, Kerava, Sipoo, Tuusula, Kirkkonummi ja Siuntio⁵⁶.

HSL:n tehtävät ovat:

- vastaa Helsingin seudun liikennejärjestelmäsuunnitelman laatimisesta (HLJ),
- suunnittelee ja järjestää toimialueensa joukkoliikenteen ja edistää sen toimintaedellytyksiä,
- hankkii bussi-, raitiovaunu-, metro-, lautta- ja lähijunaliikenteen palvelut,
- hyväksyy joukkoliikenteen taksa- ja lippujärjestelmän sekä lippujen hinnat,
- vastaa joukkoliikenteen markkinoinnista ja matkustajainformaatiosta ja järjestää lippujen myynnin ja vastaa matkalippujen tarkastuksesta.

HSL:n strategia vuosille 2018 - 2021 korostaa kestävästä kehitystä; ympäristöystävällisyyden ja päästöttömyyden lisäksi HSL hakee myös taloudellista ja sosiaalista kestävyttä⁵⁷. Kuvasssa 9.1 on HSL:n perustehtävä, visio 2030 ja strategiset painopisteet.

⁵⁶ <https://www.hsl.fi/hsl-kuntayhtyma>

⁵⁷ <https://www.hsl.fi/strategia>



Kuva 9.1. HSL:n perustehtävä, visio 2030 ja strategiset painopisteet⁵⁶.

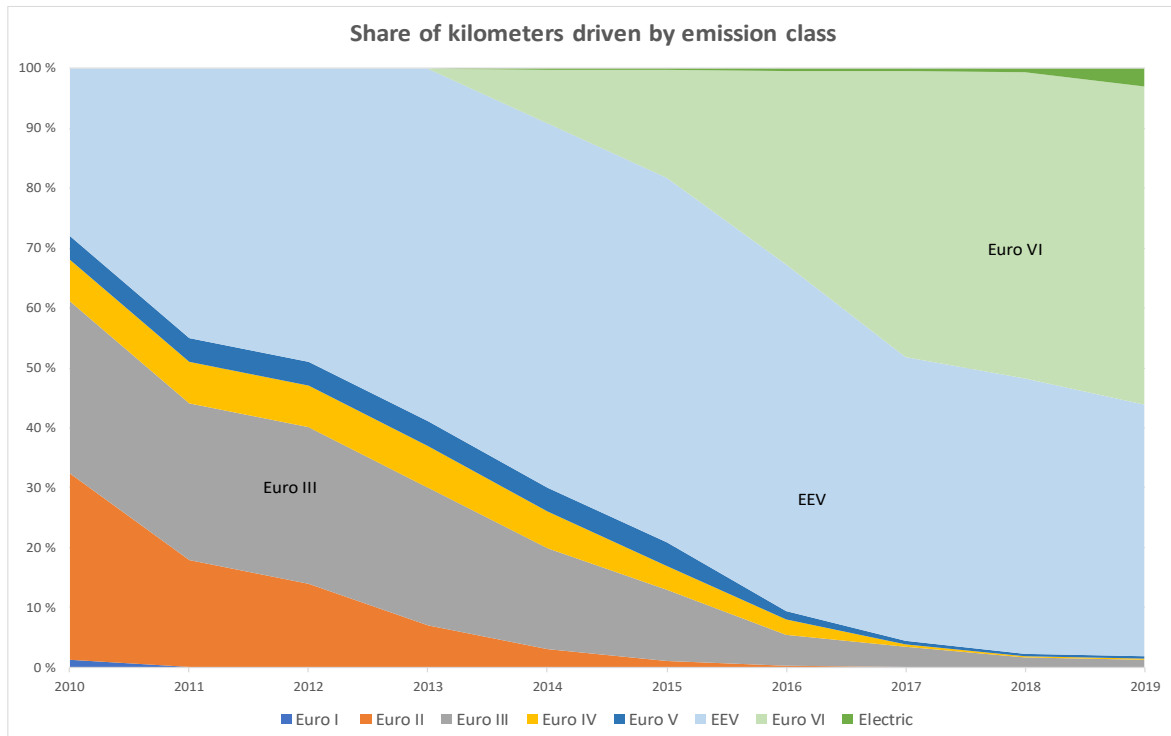
Itse strategiassa ei ole asetettu numeraalisia tavoitteita päästövähennyksille. Tavoitteet löytyvät kuitenkin HSL:n verkkosivuilta⁵⁵:

”Tavoitteenamme on leikata vuoteen 2025 mennessä joukkoliikenteen typenoksidi-, pienhiukkas- ja hiilidioksidipäästöjä yli 90 prosenttia vuoden 2010 tasosta. Tämän toteutamme:

- yhteistyössä liikennöitsijöiden kanssa
- ottamalla käyttöön uusimman ajoneuvoteknologian ja parhaat polttoaineet
- hyödyntämällä sähköä energian lähteenä
- asettamalla kilpailutuksissa tiukempia ympäristövaatimuksia dieselkalustolle
- maksamalla liikennöitsijöille ympäristöbonuksia vuosittain yhteensä kaksi miljoonaa euroa.”

Bussiliikenne on suurin joukkoliikenteen muoto pääkaupunkiseudulla. **Vuonna 2018 HSL:llä oli yhteensä 290 bussilinjaa, joilla operoi noin 1350 bussia.** BioSata-selvityksessä tehdyn arvoin mukaan bussiliikenteen polttoaineen kulutus on luokkaa 37 miljoonaa litraa vuodessa. Bussiliikenne edustaa 62 %:a HSL:n liikennöinnin kustannuksista. Osuus matkustajamäärästä on 45 %, eli bussiliikenne on suhteessa kalliimpaa kuin raideliikenne (metro, lähijunat, raitiovaunut) keskimäärin.

HSL on jo pitkään huomionut bussien päästötason kilpailutuksessa. Menetelmä perustuu VTT:n bussitietokantaan ja päästöjen arvottamiseen direktiivin 2009/33/EY laskentasääntöjen mukaan. HSL:n kilpailutusjärjestelmän rakenne on sellainen, että liikennöitsijät pääsääntöisesti tarjoavat uusiin kohteisiin mahdollisimman vähäpäästöistä kalustoa. Kuvassa 9.2 on HSL:n tilaaman bussiliikenteen ajosuoritteiden jakautuminen eri päästöluokille. Vuonna 2019 noin 55 % liikenteestä ajettiin Euro VI -tasoisilla autoilla, ja Euro IV -tasoisien ja vanhempien autojen osuus on käytännössä olematon. Sähköbussien osuus suoritteesta tulee kasvamaan nopeasti.



Kuva 9.2. HSL:n tilaaman bussiliikenteen ajosuoritteiden jakautuminen eri päästöluokille⁵⁸.

HSL hakee CO₂-päästövähennyksiä bussiliikenteeseen niin edistyksellisillä biopoltoaineilla kuin sähköbussilla. Normaalin kilpailutuksen mahdollistavaa sähköbussien toimintaekosysteemiä kehitettiin Tekesin (nykyisin Business Finland) rahoittamassa ns. ”ePELI”-hankkeessa⁵⁹. TEM myönsi omalta osaltaan HSL:lle tukea 10 Linkker sähköbussin hankintaan. HSL ei normaalisti omista tai hallinnoi autoja, mutta sähköbussien osalta HSL teki poikkeuksen. Mainitut 10 sähköbussia asetettiin eri liikennöitsijöiden käyttöön.

Syksyllä 2018 toteutetussa kilpailutuksessa, koskien 2019 käynnistyvää liikennettä, edellytettiin ensimmäisen kerran sähköbusseja, 5 pikaladattavaa autoa Espoon Leppävaaran syöttöliikenteeseen. HSL sai luonnollisesti nämä autot, mutta niiden lisäksi 33 yön yli ladattavaa, isoilla akuilla varustettua autoa, osa Espoon, osa Keravan liikenteeseen. Helmikuussa 2020 ajossa oli yhteensä 50 sähköbussia. Vuodelle 2025 HSL tavoittelee peräti 600 sähköbussia, jolloin sähköbussien osuus lähentelisi 50 %:a⁶⁰.

HSL tekee liikennöitsijöiden kanssa 7 vuoden sopimukset. Kuten edellä mainittiin, tarjouskilpailussa ympäristöasiat ovat yksi kilpailutekijä. Teknologiat voivat kuitenkin muuttua 7 vuoden kuluessa ja siksi **HSL on ottanut käyttöön ympäristöbonus-järjestelmän**, jotta tarjouskauden aikana toimeenpannut parannukset hyödyttäisivät liikennöitsijöitä. Mukana arvioinnissa ovat niin CO₂-päästöt kuin haitalliset lähipäästöt (NO_x ja PM). HSL:n hallitus päättää vuosittain jaettavan bonussumman suuruuden ja kriteerit⁶¹.

HSL maksoi liikennöitsijöille ympäristöbonuksia ensimmäistä kertaa vuonna 2013. Suuri osa bonuksista on mennyt uusiutuvan dieselin ja biokaasun käytön edistämiseen busseissa. Lisäksi on tuettu mm. jälkiasennettavia pakokaasujen puhdistuslaitteistoja. Ympäristöbonus kilpailutetaan, ja kustannustehokkuus (laskennallinen päästöhyöty jaettuna kustannuksilla) ratkaisee valinnat.

⁵⁸ Kuvan data Petri Saari/HSL 9.3.2020

⁵⁹ Pihlatie, M., Mäkinen, R., 2016. Helsinki region electric bus activities with pre-commercial pilot ”ePELI”. In: Proceedings of ECV Final Seminar & Nordic Electric Bus Initiatives 2. Helsinki, 11 – 12 May, 2016.

⁶⁰ Mäkinen, R., HSL ja sähköbussit. Fingrid tapaaminen 1.10.2019.

⁶¹ <http://energiakokeilut.fi/liikenne/hsl-ymparistobonus>

Niin kuin tämän raportin johdannossa todettiin, yksi BioSata-hankkeen alkuperäisistä ideoista oli, että polttoaineiden toimittajat, voimassa olevan jakeluvelvoitteen puitteissa, ohjaisivat biopolttoaineita keskitetysti bussiliikenteeseen ja kaupunkien ajoneuvoihin ja työkoneisiin, ilman lisäkustannuksia. Tämä ei kuitenkaan toteutunut käytännössä, ja HSL:n osalta lisääntynyt biopolttoaineiden käyttö on ollut ympäristöbonuksen varassa.

HSL syksyn 2016 ympäristöbonuskilpailun tuloksena vuodelle 2017 saatiin seuraavat biopolttoainemäärät:

- 6.700.000 litraa uusiutuvaa dieseliä
- 135.000 litraa bioetanolia
- 600.000 kg biokaasua

Biopolttoaineisiin ohjattiin n. 1 M€.

Syksyn 2017 kilpailun (biopolttoaineet vuodelle 2018) ratkesi seuraavasti:

- 7.050.000 litraa uusiutuvaa dieseliä

Rahallinen panostus oli tuolloinkin n. 1 M€.

Vuonna 2019 HSL:n ympäristöbonukseen tuli merkittävä tasokorotus, summan ollessa 1,7 M€. Valtaosa rahasta käytettiin biopolttoaineisiin, mutta bonuksella hankittiin myös 15 jälki-asennettavaa pakokaasujen puhdistuslaitteistoa. Polttoaineita saatiin seuraavasti:

- 10.800.000 litraa uusiutuvaa dieseliä
- 65.000 litraa bioetanolia
- 300.000 kg biokaasua

Diselekvivalentiksi muutettuna "ylimääräisen" biopolttoaineiden kokonaismäärä 2019 oli n. 11,3 milj. l, vastaten noin 30 %:n bio-osuutta.

Vuodelle 2020 panostus ja biopolttoainemäärät kasvavat edelleen, jolloin biopolttoaineisiin käytetään 2,1 M€. Polttoainemäärät ovat:

- 13.900.000 litraa uusiutuvaa dieseliä
- 60.000 l bioetanolia
- 300.000 kg biokaasua

Diselekvivalentiksi muutettuna "ylimääräisen" biopolttoaineiden kokonaismäärä 2020 on n. 14,4 milj. l, vastaten noin 40 %:n bio-osuutta.

Jakeluvelvoite tuo koko dieselpooliin suuruusluokkaisesti 15 % biokomponenttia vuonna 2020, olettamuksella että jakeluvelvoite täytetään suurimmaksi osaksi tuplalaskettavilla biokomponenteilla (todellinen biopolttoaineiden osuus hieman yli 10 %), ja ettei bensiinin bio-osuus kasva edellisistä vuosista. Tämän perusteella voidaan arvioida, että HSL:n tilaamassa bussiliikenteessä todellinen biopolttoaineosuus, jakeluvelvoite ja ympäristöbonuksella hankittu biopolttoaine yhteensä, lähentelee 50 %:a. BioSata-tavoite oli ensimmäisessä vaiheessa 50 %, ja toisessa vaiheessa 70 - 90 %. Näin ollen bussiliikenteessä päästiin ensimmäisen vaiheen tavoitteeseen. Huomionarvoista on, että HSL enemmän kuin tuplasi biopolttoaineisiin käytetyn ympäristöbonuksen BioSata-hankkeen keston aikana.

HSL on harkinnut edellyttävänsä jatkossa biopolttoaineiden käyttöä bussiliikenteessä. Nykyisissä liikennöintisopimuksissa tavanomaisen dieselpolttoaineen hinta on huomioitu Tilastokes-

kuksen linja-autoliikenteen kokonaiskustannusindeksin perusteella. Tarjouksen mukaiset ajosuoritteiden yksikköhinnat tarkistetaan linja-autoliikenteen kokonaiskustannusindeksin muutoksen perusteella. Tyypillinen sopimuskauden pituus on 7 vuotta.

Uusiutuvan dieselpolttoaineen hinnan kehitystä ei sen sijaan ole huomioituna linja-autoliikenteen kustannusindeksissä, ja tämä tekee vaatimuksen biopolttoaineiden käytöstä haasteelliseksi. Lisäksi uusiutuvan dieselin toimitukset ovat käytännössä yhden toimijan varassa, eikä markkinoille ole syntynyt aitoa kilpailutilannetta. Kaasubusseja, joissa voitaisiin käyttää bio-kaasua, on HSL-alueella hyvin rajallinen määrä. HSL tähtää kuitenkin edelleen biopolttoainevaatimukseen.

9.3 Helsinki/Stara

Helsingin kaupunkistrategiassa 2017 – 2021 tavoitteeksi on asetettu hiilineutraali Helsinki vuoteen 2035 mennessä. Tähän päästään vähentämällä kasvihuonekaasupäästöjä Helsingissä 80 prosenttia. Jäljelle jäävä 20 prosenttia kompensoidaan siten, että Helsinki huolehtii päästövähennysten toteutumisesta muualla. Helsingin kasvihuonekaasupäästöjen merkittävimpiä lähteitä ovat rakennusten lämmitys, sähkönkäyttö ja liikenne. Hiilineutraali Helsinki 2035 –toimenpideohjelma on kaupunginhallituksen hyväksymä⁶².

Stara on Helsingin kaupungin rakentamispalveluliikelaitos. Stara tuottaa kaupunkiympäristön rakentamisen ja hoidon sekä logistiikan palveluja Helsingin tarpeisiin. Logistiikkaosasto on yksi Staran kuudesta alayksiköstä. Logistiikan perustehtävä on tarjota kuljetuksia sekä ajoneuvojen ja koneiden vuokraus- ja huoltopalveluja Helsingin kaupungin tarpeisiin. Logistiikka huoltaa ja korjaa suurimman osan kaupungin auto- ja konekalustosta.

Logistiikka vastaa pitkälti Staran tarvitsemien koneiden, laitteiden, työkalujen, kemikaalien ja muiden työvälineiden sekä materiaalien hankintojen kilpailutuksista. Erillisenä palveluna osasto kilpailuttaa ja tekee teknisiä hankintoja myös kaupunkiorganisaation tarpeisiin⁶³.

Staran oma ilmastotavoite on kunnianhimoisempi kuin Helsingin kaupungin tavoite, Stara pyrkii hiilineutraaliuuteen vuoteen 2030 mennessä. Biopolttoaineiden lisäksi Stara miettii myös kalustonsa sähköistämistä⁶⁴.

Staran oman kaluston koostumus on (autot ja työkoneet):

- henkilöautot 362
- pakettiautot 367
- kuorma-autot 134
- maastoajoneuvot 1
- moottorityökoneet 266
- traktorit 90

Starassa uusiutuva diesel otettiin käyttöön kolmessa omassa jakelupisteessä, Hernesaaressa, Pitäjänmäellä ja Toukolassa kesällä 2017. Vuonna 2018 Stara teki päätöksen siitä, että omat tankkauspisteet ajetaan alas asteittain, ja uusiutuvan dieselin tankkauksissa otettiin käyttöön Neste Markkinoinnin kortit.

Starassa otettiin 2017 - 2018 käyttöön ”HELKYM”, Helsingin kaluston ympäristömalli, helpottamaan polttoaine- ja päästöinventarioiden tekoa.

⁶² <https://www.hel.fi/static/liitteet/kaupunkiymparisto/julkaisut/julkaisut/HNH-2035-toimenpideohjelma.pdf>

⁶³ <https://www.hel.fi/stara/fi/staran-esittely/>

⁶⁴ <https://www.hel.fi/uutiset/fi/stara/sahkoa-ilmassa-vanha-dieselkuormuri-muuttuu-sahko-kayttoiseksi?pd=v>

Mallin mukaan Stara käytti dieselpolttoainetta ja moottoripolttoöljyä yhteensä 1.185.286 l vuonna 2017 ja 1.036.345 l vuonna 2018. Uusiutuvan dieselin määrät olivat vastaavasti 184.693 ja 402.823 l, jolloin uusiutuvan osuus dieselpolttoaineissa on ollut 16 % vuonna 2017 ja 39 % vuonna 2018.

Staran vuodelle 2019 asettama tavoite uusiutuvan polttoaineen käytölle oli 70 % dieselpolttoainetta käyttävissä ajoneuvoissa. Tästä tavoitteesta jäätin kuitenkin selvästi, ja osuudessa palattiin vuoden 2017 tasolle. Vuoden 2019 polttoainemäärät olivat (sisältäen biokomponentit):

- diesel 1.301.583 l
- moottoripolttoöljy 247.841 l
- bensiini 35.544 l
- yhteensä

Stara käytti vuonna 2019 179.403 litraa uusiutuvaa Neste MY dieselpolttoainetta, jolloin 100 %:sen uusiutuvan polttoaineen osuudeksi (tilavuusosuus) varsinaisesta dieselpolttoaineesta muodostuu 14 %. Uusiutuvan osuus dieselpolttoaineesta ja moottoripolttoaineesta yhteensä oli 12 %.

Stara on kuitenkin tehnyt päätöksen biopolttoaineiden ja sähkön käytön lisäämisestä seitsenkohtaisen toimenpideohjelman muodossa⁶⁵:

1. Vähennetään fossiilisen dieselin käyttöä siirtymällä uusiutuvien polttoaineiden käyttöön lisäämällä uusiutuvien osuutta n. 8 % vuosittain vuoden 2019 tasosta. Kun vuoden 2019 osuus oli n. 14 % tulee osuus olemaan vuonna 2020 n. 21 %, vuonna 2025 60 % ja vuonna 2030 100%.
2. Vähennetään fossiilisen moottoripolttoöljyn käyttöä siirtymällä uusiutuvaan dieseliin vuodesta 2022, jolloin vuonna 2025 uusiutuvan osuus olisi 45 % ja vuonna 2032 100 %.
3. Lisätään sähköajoneuvojen määrää siten, että vuoden 2020 aikana kilpailutetaan uudet hankintasopimukset ja kaikki uudet hankittavat henkilöautot ovat sähkökäyttöisiä tai tarvittaessa lataushybridejä. Vuoden viimeiset sopimukset Kaupungilla/ Staralla päättyvät bensiinikäyttöisistä henkilöautoista vuoden 2025 aikana. Staran kautta toimialoille ja Staran käyttöön on hankittu 286 henkilöautoa.
4. Tutkitaan kaupunkiympäristön johdolla, Kaupungin toimialojen ja Staran tukikohtien sähkölatausinfra ja siihen tarvittavat lisäykset /muutokset, jotta sähköajoneuvojen määrää voidaan lisätä suunnitelman mukaan.
5. Lisätään koekäyttöjä ja hankintoja sähköajoneuvoista Staran ja toimialojen tuotannoille.
6. Lisätään muutoinkin kaiken ajoneuvokannan hankkimista sähköisinä ja kilpailutetaan muunnossähköasennukset kaupungin raskaaseen kalustoon, missä niin on järkevää. (Staralla on kaupungin innovaatorahaston rahoittama muunnossähköistettävä kuorma-auto –hanke vuosille 2019-2021).

Stara on myös mukana raskaan kaluston pika/hidaslatausinfraa koskevassa tutkimuksessa MySmartLife -hankkeen puitteissa vuosina 2018 - 2020⁶⁶.

⁶⁵ Paavo Lehmonen/Stara 11.3.2020

⁶⁶ <https://www.mysmartlife.eu/cities/helsinki/>

9.4 Espoo

Espoo pyrkii hiilineutraalisuuteen vuoteen 2030 mennessä. Espoon ilmasto-ohjelmassa 2016-2020⁶⁷ tavoitevuodeksi on kirjattu 2050, mutta tavoitevuosi on päivitetty ns. Espoo-tarinassa⁶⁸. Näissä on esitetty tavoitteita niin uusiutuvalle sähkölle kuin uusiutuville polttoaineille.

Espoon oma ajoneuvokalusto muodostuu seuraavasti⁶⁹:

- henkilöautot 342 kpl
- pakettiautot 149 kpl
- kuorma-autot 46 kpl
- työkoneet 75 kpl
- traktorit 30 kpl
- erikoiskalusto 46 kpl

Vaihtoehtotekniikkaa hyödyntäviä autoja on yhteensä 17 kpl, 6 täyssähköautoa ja 11 plug-in hybridiä.

Vuoden 2019 polttoainemäärät olivat (sisältäen biokomponentit):

- diesel 606.431 l
- moottoripolttoöljy 0 l (käyttö loppui 2019)
- bensiini 206.353 l
- yhteensä 812.784 l

Espoo käytti vuonna 2019 285.306 litraa uusiutuvaa Neste MY dieselpolttoainetta, jolloin 100 %:sen uusiutuvan polttoaineen osuudeksi (tilavuusosuus) dieselpolttoaineessa muodostuu 47 %. Olettaen, että peruslaatuissa dieselpolttoaineissa on 15 % bio-osuutta (kts. 9.2), yhteenlaskettu bio-osuus oli 55 %. Mitään erityisiä haasteita uusiutuvan dieselpolttoaineen käytössä ei ole ilmennyt.

Vuodelle 2020 100 %:selle uusiutuvalle dieselpolttoaineelle on asetettu 70 %:n tavoite. Polttoaineet Espoo tankkaa Neste Markkinoinnin julkisilta jakeluasemilta.

9.5 Vantaa

Vantaa tavoittelee niin ikään hiilineutraalisuutta vuonna 2030⁷⁰. Tavoitteena on myös, että kaupungin käytössä olevista kulkuneuvoista vähintään puolessa käytetään vaihtoehtoisia polttoaineita, aikavälillä 2022 – 2025, ja aikavälillä 2026-2029 siirrytään kokonaan vaihtoehtoihin polttoaineisiin.

Vantaan omaan kalustoon kuuluu⁷¹:

- henkilöautot 186 kpl
- pakettiautot 136 kpl
- kuorma-autot 57 kpl
- työkoneet 94 kpl

⁶⁷ <https://www.espoo.fi/download/noname/%7B59BCD2C9-419A-44C4-8C9D-CA8CDA78EC84%7D/74952>

⁶⁸ <http://www.espoo.fi/download/noname/%7BD2192649-32C3-4E01-8EB1-7CA033DC1945%7D/98258>

⁶⁹ Jani Sipiläinen/Espoo 28.1.2020

⁷⁰ https://www.vantaa.fi/instancedata/prime_product_julkaisu/vantaa/embeds/vantaawwwstructure/140089_ResurssiviisaudenTiekartta-18.6.2018-final.pdf

⁷¹ Kaj Weckström/Vantaa 3.2.2020

Vantaalla on käytössä 12 kaasuautoa. Täyssähköautoja on niin ikään 12.

Vuoden 2019 nestemäisten polttoaineiden määrät olivat (sisältäen biokomponentit):

- diesel 478.000 l
- moottoripolttoöljy 109.000 l
- bensiini 97.000 l
- yhteensä 684.000 l

Uusiutuvaa dieselpolttoainetta käytettiin 177.000 l vuonna 2019, jolloin 100 %:sen uusiutuvan tilavuusosuus dieselpolttoaineesta oli 37 %. Lisäksi Vantaa käytti 14.000 kg biokaasua vuonna 2019. Vantaan osalta voidaan arvioida, että huomioiden biovelvoitteen tuoma biopolttoaineisuus tavalliseen dieselpolttoaineeseen bio-osuus dieselpolttoaineessa oli noin 45 %.

Vantaallakaan ei ole omia tankkauspisteitä, vaan uusiutuvan dieselin tankkaus tapahtuu Espoon tapaan Neste Markkinoinnin jakeluasemilla ja biokaasun tankkaus Gasumin jakeluasemilla.

Mitään teknisiä ongelmia uusiutuvien polttoaineiden käytössä ei ole ilmaantunut. Suppeahko tankkausverkosto aiheuttaa kuitenkin haasteita ylimääraisten ajojen muodossa.

Vantaa on asettanut uusiutuvan dieselpolttoaineen tavoitteeksi 60 % dieselpolttoaineesta.

Lisäksi Vantaa liittyy todennäköisesti Green Deal - Päästötön työmaa -sopimukseen⁷². Mukana neuvotteluissa ovat myös Helsinki, Espoo ja Turku.

9.6 Posti

Posti on merkittävä logistiikkaoperaattori. Kuvassa 9.3 on yhteenveto Postin toiminnasta⁷³.

Posti Green -palvelut ovat hiilineutraaleja. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että Posti neutraloi päästönsä osallistumalla sertifioituihin ilmastoprojekteihin.

Postin ympäristöohjelma sisältää konkreettisia tavoitteita ja toimenpiteitä päästöjen vähentämiseksi⁷⁴. Päivitetyt tavoitteet ovat⁷⁵:

- CO₂-päästöt -30 % vuonna 2022 verrattuna vuoteen 2019
- CO₂-päästöt nollaan vuonna 2030

Toimenpiteinä ympäristöohjelmassa luetellaan:

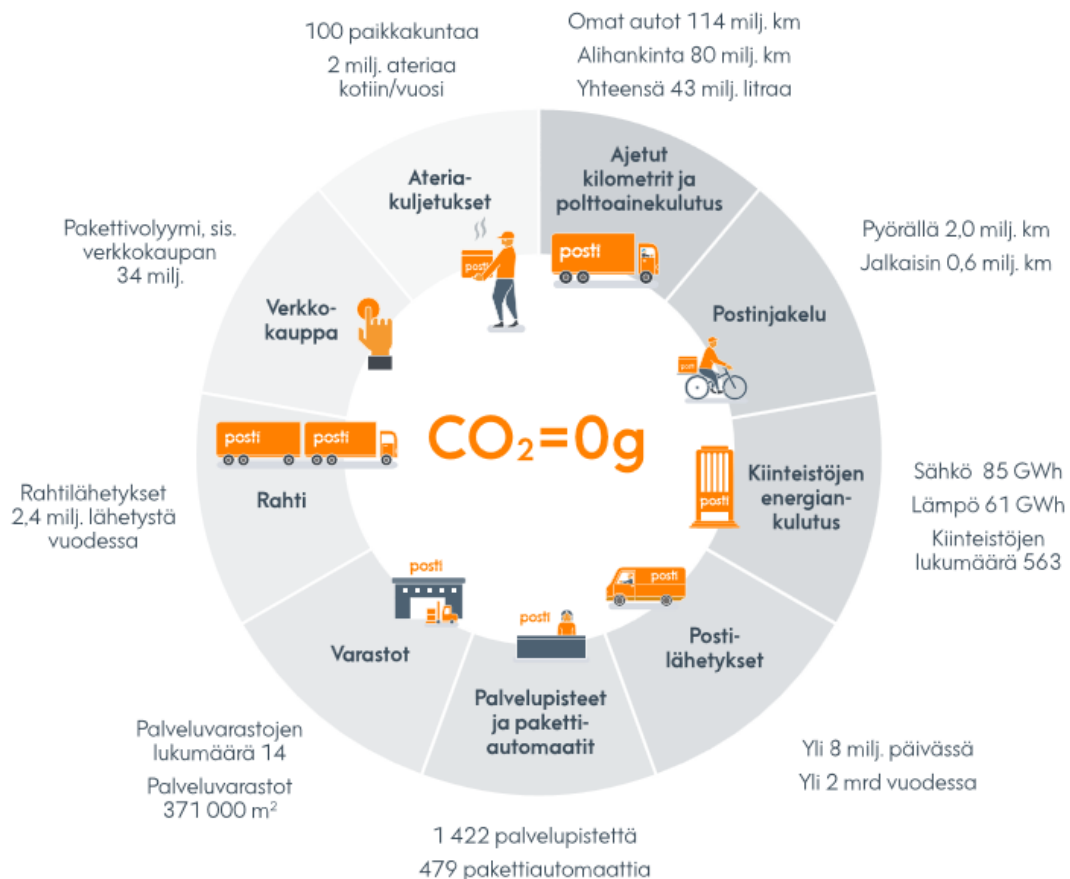
- Kuljetus: Ajotapakoulutus- ja seuranta, reittioptimointi, kuljetusten yhdistäminen
- Kiinteistöt: Energiatehokkuus, kaikki Postin käyttämä sähkö on vihreää sähköä
- Ympäristövaatimusten asettaminen alihankintakuljetuksille
- Vapaaehtoinen päästöjen kompensointi omien päästövähennysten kannustimeksi
- Hiilineutraalit Posti Green -palvelut

⁷² https://www.hankintakeino.fi/fi/yhteistyö-ja-verkostoituminen/hankintojen-green-deal-sopimukset/paastottomat_tyomaat

⁷³

⁷⁴ https://www.posti.com/vastuullisuus/ymparistovastuu/#_ga=2.28169340.1152226554.1583746733-931914613.1583746733

⁷⁵ Vesa Tavi/Posti 13.2.2020



Kuva 9.3. Postin toiminta.

Omaa kalustoa Postilla on seuraavasti:

- raskas kuorma-autokalusto:
 - 26/28 tonnia 114 kpl
 - 12/18 tonnia 162 kpl
- kevyet kuorma-autot, pakettiautot ja muut:
 - kuorma-autot alle 7,5 t 468 kpl
 - jakelun pakettiauto 2545 kpl
 - jakelun sähköskootterit 280 kpl
 - sähköavusteiset polkupyörät 800 kpl

Kaasukäyttöisiä autoja on yhteensä 46 kappaletta, ja varsinaisia sähköautoja 7.

Posti käytti 2019 dieselpolttoainetta yhteensä 18.103.657 l. Tällä polttoainemäärällä ajettiin 103.080.307 km, jolloin autojen kesikulutukseksi tulee 17,56 l/100 km. Posti ei toistaiseksi käytä korkeaseosteisia nestemäisiä biopolttoaineita. Moottoripolttoöljyä käytetään kuormati-
lojen lämmönsäätelylaitteistoissa.

Biokaasua käytettiin 133.576 kg, ja kaasautojen suorite oli 549.950 km. Kesikulutukseksi tulee 24,3 kg/100 km. Korkea lukema selittyy sillä, että joukossa on raskaita LNG-käyttöisiä rekkavetureita. Postilla ei ole omia tankkauspisteitä.

Uusiutuvan dieselpolttoaineen ongelmana nähdään sekä hinta että saatavuus, saatavuus koska Posti toimii kaikkialla Suomessa. Uusiutuvien käyttövoimien osalta Postin fokus tulee olemaan sähköistyksessä lähijakelussa ja nesteytetyn biokaasun (LBG) käytössä pitkillä mat-
koilla.

9.7 Haasteet biopolttoaineiden käyttöönotossa

Uusiutuvat polttoaineet ovat vielä toistaiseksi perinteisiä fossiilisia polttoaineita kalliimpia, huolimatta edistyksellisestä biopolttoaineiden verojärjestelmästä. Kuten edellä todettiin, HSL on joutunut hankkimaan ylimääräistä biopolttoainetta ympäristöbonuksen voimalla.

BioSata-hankkeen ohjausryhmässä on keskusteltu mm. siitä, että esim. kaupungin sisällä eri alayksiköissä ja aliurakoissa hinta saattaa edelleen olla ratkaiseva tekijä, mikä johtaa siihen, ettei kokonaisuutta optimoida ilmastopäästöjen kannalta. Myös Posti ilmoittaa, että hinta rajoittaa uusiutuvan dieselin käyttöönottoa.

Espoo raportoi kuitenkin, ettei uusiutuvan polttoaineen käyttöönotossa ole ollut ongelmia, ei hankintaprosessin eikä polttoaineen saatavuuden/jakelun kannalta. Myöskään Vantaa ei näe hintaa suurena ongelmana, mutta toteaa, että 100 %:n uusiutuvan dieselin jakeluverkosto on toistaiseksi melko suppea, mikä aiheuttaa ylimääräisiä ajoja.

10. Viestintä

BioSata-hankkeen viestintä päätettiin toteuttaa yhteistyössä Smart & Clean -säätiön kanssa. Viestintää on hoidettu lehdistötiedotteilla, Smart & Cleanin verkkosivujen avulla sekä hanketta kuvaavilla kalvosarjoilla.

Hankkeen 3.6.2017 pidetyssä ohjausryhmässä keskusteltiin hankkeen viestinnästä yleisesti ja ensimmäisestä hanketta koskevasta lehdistötiedotteesta.

Lehdistötiedote julkaistiin 6.6.2017, ja se päättyi varsin laajaan jakeluun, mm.:

<http://www.talouselama.fi/uutiset/jatteet-ja-tahteet-liikuttavat-helsinkilaisia-jatkossa-hsl-ja-stara-siirtyvat-kokonaan-uusiutuviin-6655117>
<https://demokraatti.fi/helsingin-bussit-siirtyvat-lahivuosina-biopolttoaineisiin/>
<http://www.ksml.fi/kotimaa/Helsingin-bussien-tankkiin-laitetaan-tulevaisuudessa-vain-biopolttoainetta/997469>
<http://www.verkkouutiset.fi/talous/helsinki%20ajoneuvo%20uusiutuva%20oljy%20biopolttoaine-66350>
<https://www.uusisuomi.fi/kotimaa/222546-1-400-hsl-bussia-vaihtaa-biopolttoaineisiin-suurin-hanke-euroopassa>
http://vastuullisuus uutiset.fi/index.php?page_id=29854
<http://ls24.fi/uutiset/paakaupunkiseudun-kaupunkiliikenne-kurkottaa-kohti-uusiutuvia-polttoaineita>
<https://www.arvopaperi.fi/porssitiedotteet/kaupunkiliikenne-puhdistuu-hsl-ja-stara-siirtyvat-kokonaan-uusiutuviin-polttoaineisiin-6654971>
<http://www.is.fi/autot/art-2000005242163.html>

Stara laati 22.5.2018 tiedotteen ” Helsinki laajentaa uusiutuvien polttoaineiden käyttöä kaupungin työkoneissa”.

22.5.2019 tiedotettiin projektiin liittyneistä uusista kumppaneista:

<https://www.hsl.fi/uutiset/2019/liikenteen-paastot-pienemmiksi-yha-useampi-tyokone-kulkee-uusiutuvalla>

Smart & Clean -verkkosivuilla on ollut kevästä 2019 BioSata-projektikuvaus:

<https://smartclean.fi/projects/bussit-ja-tyokoneet-biopolttoaineille/>

14.1.2020 Smart & Clean -verkkosivuilla kerrottiin projektin etenemisestä. Tästä ei tehty lehdistötiedotetta, vaan oli uutinen omistetuissa mediassa:

<https://smartclean.fi/2020/01/14/biosata-projektissa-paakaupunkiseudulla-siirryttiin-biopohjaisiin-polttoaineisiin/>

Myös HSL:n ja Staran verkkosivuilla on tiedotettu hankkeesta.

Hankkeesta laadittiin kalvosarjat vuoden 2018 alussa. Kalvosarjoista on kaksi eripituista versiota, 6 ja 12 sivua, sekä suomeksi että englanniksi.

11. Yhteenveto ja johtopäätökset

Helsingin seudun liikenne (HSL), Helsingin kaupunki (Stara) ja energiayhtiöt (Neste, St1, UPM) toteuttivat vuosina 2016 - 2019 Työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) tuella "BioSata"-hankkeen, jonka tavoitteena oli nopeuttaa siirtymistä kestävästi tuotettuihin biopolttoaineisiin HSL:n tilaamassa bussiliikenteessä ja Helsingin kaupungin omassa auto- ja työkonekalustossa. Vuonna 2018 hankkeeseen liittyivät myös Espoon ja Vantaan kaupungit sekä Posti. Tutkimusosapuolena toimi VTT. Hanke ideoitiin alun perin Pääkaupunkiseudun Smart & Clean -säätiön puitteissa käydyissä keskusteluissa, ja se linkitettiin säätiön projektisalkkuun. Lisäksi Smart & Clean -säätiö ohjasi ja tuki hankkeen viestintää.

Hankkeen tavoitteeksi kirjattiin:

"Biopolttoaineiden osuus (todellinen energiaosuus) polttomoottorilla varustetussa kalustossa on vähintään 50 % vuonna 2017 ja 70 - 90 % vuonna 2019. HSL ja Stara toimivat tiennäyttäjinä niin pääkaupunkiseudun muiden toimijoiden kuin muidenkin kaupunkiseutujen osalta siirtymisessä hiilineutraaliin liikenteeseen."

Käytännön demonstroiintiin painottuneessa BioSata-hankkeessa selvitettiin teknisten kysymysten lisäksi mm. polttoaineiden hinnoittelua ja verotuskohtelua, hankintamenettelyjä ja mahdollisia kilpailuseiteitä.

Mittauksia ja kenttäkokeita tehtiin busseilla, kuorma-autoilla ja työkoneilla, niin laboratorio- kuin kenttämittauksina. Hankkeessa tutkittiin mm. polttoaineen kulutusta, haitallisia lähipäästöjä (NO_x ja PM), polttoaineen vaikutusta huollon tarpeeseen ja yleisesti uusiutuvien polttoaineiden toimivuutta. Suurin tehtäväkokonaisuus oli 10 Euro VI -tasoisella bussilla tehty kenttäkoe, johon liittyi alustadynamometrimittauksia, PEMS-mittauksia tien päällä ja autojen jatkuvaa seuranta. Työkoneiden osalta mittauksia tehtiin Staran Wille-monitoimikalustolla ja UPM:n toimintaan liittyvillä työkoneilla.

Projekti ei tuonut esiin mitään varsinaisia teknisiä ongelmia korkeaseosteisten biopolttoaineiden käytössä, ja omalta osaltaan projekti on lisännyt eri toimijoiden valmiuksia ottaa käyttöön biopolttoaineita.

Hiilidioksidipäästöjen lisäksi korkealaatuisilla uusiutuvilla polttoaineilla voidaan myös vähentää myös terveydelle haitallisia lähipäästöjä. Lähipäästöjen vähentäminen edellyttää kuitenkin uusiutuvien polttoaineiden käyttöä korkeina pitoisuuksina. Vaikutus on suurimmillaan työkoneissa ja vanhemmassa autokalustossa. Euro VI -bussikoe osoitti, että autoyksilöiden väliset erot ja autojen toiminnan vaihtelu peittävät alleen polttoaineen vaikutukset. Toisaalta Euro VI -tasoisessa kuorma-autossa uusiutuva dieselpolttoaine alensi sekä NO_x- että hiukkaspäästöjä. Työkoneissa nähtiin järjestään alentuneita NO_x-päästöjä uusiutuvaa dieselpolttoainetta käytettäessä, vaikutus hiukkaspäästöihin vaihteli koneen ja pakokaasujen jälkikäsitelyjärjestelmän mukaan.

Päästövertailuja ja osittain myös busseilla tehdyn kenttäkokeen tulosten tulkintaa hankaloitti omalta osaltaan se, että jopa 75 % Suomessa myydyistä dieselpolttoaineista on täyttänyt parafiinisuuden määritelmän. Vain osassa kokeista vertailukohteena oli VTT:n referenssidiesel, joka koostumukseltaan vastaa EN590-peruslaatua.

Alhaisen tiheyden omaava uusiutuva dieselpolttoaine lisää tilavuuspohjaista polttoaineen kulutusta keskimäärin noin 3,5 % tavanomaiseen EN590-polttoaineseen verrattuna. Koska korkean setaani luvun omaava uusiutuva diesel parantaa moottoreiden hyötysuhdetta hieman, ero ei ole niin suuri kuin polttoaineiden tilavuuspohjaisista lämpöarvoista voisi päätellä.

Alustadynamometrissa verrattiin kolmea eri teknologiaa edustavaa Euro VI -tasoista kuorma-autoa keskenään: diesel, etanoli (ED95) ja metaani (kaasu). Etanoliauton hyötysuhde vastasi dieselauton hyötysuhdetta, kun taas kipinäsytytteisellä kaasumoottorilla varustetun auton hyötysuhde oli selvästi muita autoja matalampi WHVC-syklillä testattuna.

Yksi hankkeen alkuperäisistä ideoista oli, että polttoaineiden toimittajat, voimassa olevan jakeluvelvoitteen puitteissa, ohjaisivat biopolttoaineita keskitetysti bussiliikenteeseen ja kaukunkien ajoneuvoihin ja työkoneisiin, ilman lisäkustannuksia. Tämä ei kuitenkaan toteutunut käytännössä, koska järjestely olisi voinut johtaa mm. kilpailun vääristymiseen. HSL:n tilaaman bussiliikenteen osalta polttoaineiden toimitussopimukset tehdään polttoaineiden jakelijoiden ja liikennöitsijöiden kesken, eikä HSL:llä ole sanavaltaa näihin neuvotteluihin.

Toisaalta HSL on nopeuttanut biopolttoaineiden käyttöä ns. ympäristöbonuksen avulla, ts. HSL on maksanut ylimääräistä korvausta biopolttoaineiden käytöstä. Ympäristöbonukseen liittyy kilpailutusmenettely, jolla on taattu se, että toiminta on kustannustehokasta. Hankkeen aikana HSL:n biopolttoaineisiin käyttämä ympäristöbonus käytännössä kaksinkertaistui (1 -> 2,1 M€/a).

Muut toimijat (Stara, Espoo, Vantaa) ovat omilla päätöksillään voineet lisätä biopolttoaineiden käyttöä. Biopolttoaineet on kuitenkin jouduttu hankkimaan käytännössä normaaliin markkinahintaan, eli suuruusluokkaisesti 15 snt/l lisähintaan tavanomaiseen dieselpolttoaineseen verrattuna.

Biopolttoaineosuuksien osalta tilaaja- ja käyttäjätahot eivät yltäneet hankkeen kakkosvaiheelle asetettuun 70 - 90 %:n tasoon. Vuonna 2019 useiden toimijoiden hankkimat ”ylimääräiset” biopolttoainemäärät asettuivat haarukkaan 37 - 47 % dieselpolttoaineesta, jolloin peruslaatuissa dieselpolttoaineissa oleva bio-osuus huomioiden bio-osuudeksi tuli 46 - 55 %. Toimijoiden laskennalliset CO₂-päästöt pienentyvät samassa suhteessa.

Uusiutuvat polttoaineet ovat vielä toistaiseksi perinteisiä fossiilisia polttoaineita kalliimpia, huolimatta edistyksellisestä biopolttoaineiden verojärjestelmästä. Esim. HSL on hankkinut biopolttoainetta ympäristöbonuksen voimalla.

Eri organisaatioissa, niiden alayksiköissä ja aliurakoissa hinta saattaa edelleen olla ratkaiseva tekijä, mikä johtaa siihen, ettei kokonaisuutta optimoida ilmastopäästöjen kannalta. Esim. Posti ilmoittaa, että hinta rajoittaa uusiutuvan dieselin käyttöönottoa. Espoo raportoi kuitenkin, ettei uusiutuvan polttoaineen käyttöönotossa ole ollut ongelmia, ei hankintaprosessin eikä polttoaineen saatavuuden/jakelun kannalta. Myöskään Vantaa ei näe hintaa suurena ongelmana, mutta toteaa, että 100 %:n uusiutuvan dieselin jakeluverkosto on toistaiseksi melko suppea, mikä aiheuttaa ylimääräisiä ajoja.

On kuitenkin muistettava, että nyt on toimittu biopolttoaineen jakeluvelvoitteen piirissä. 100 %:n uusiutuvan dieselpolttoaineen hinta jakelumittarilla ei tällä hetkellä ole tuotteen todellinen hinta, koska toimitetut määrät voidaan laskea jakeluvelvoitteen piiriin, ja koko polttoainepooli on periaatteessa mukana tasaamassa hintoja. Jakelumittarilla näkyvä hintaero tavanomaisen dieselpolttoaineen ja uusiutuvan dieselpolttoaineen välillä kuvastaa lähinnä ylimääräisiä logistiikkakustannuksia ja sitä, että uusiutuvalla dieselillä sellaisenaan käytettynä tulee korkeampi polttoainevero kuin komponenttikäytössä. Tämä johtuu siitä, että kaikesta toimitetusta

dieselpolttoaineesta on kannettava vähintään EU:n määräämä minimivero, 0,33 €/l. Suomen verojärjestelmän mukainen vero uusiutuvalle parafiiniselle tuplalaskettavalle dieselpolttoaineelle on noin 0,26 €/l, ja tätä verotasoja voidaan soveltaa komponenttikäytössä. Uusiutuvan tuplalaskettavan (CO_2 -verokomponentti= 0) dieselpolttoaineen todellinen verollinen pumppuhinta olisi hieman vajaa 2 €/l.

Jakeluvelvoitteen puitteissa toimiminen tarkoittaa myös sitä, että eri toimijoiden hankkima 100 %:nen uusiutuva dieselpolttoaine ei lisää biopolttoaineiden käyttöä valtakunnan tasolla. Biopolttoaineiden kohdennettu käyttö toki mahdollistaa päästövähennykset yksittäiselle toimijalle. Biokaasu on tässä mielessä poikkeus, koska biokaasu ei kuulu jakeluvelvoitteen piiriin. Biokaasusta ei toistaiseksi myöskään kanneta energiaveroja. Ruotsissa on käytössä järjestelmä, jossa normaalilaatuiset bensiini ja diesel ovat tietynlaisen jakeluvelvoitteen piirissä ("Reduktionsplikt"), kun taas korkeaseosteiset biopolttoaineet, myös nestemäiset, ovat verovapaita, eikä niitä lasketa velvoitteen piiriin. Tässä on tietynlainen analogia Suomen käytäntöön biokaasun osalta.

Puhtaiden ja energiatehokkaiden ajoneuvojen edistämistä koskeva direktiivi uudistui perusteellisesti kesäkuussa 2019. Julkiset toimijat velvoitetaan tiettyihin vähäpäästöisten ajoneuvojen vähimmäisosuuksiin, niin ajoneuvojen kuin kuljetuspalveluiden hankinnassa. Raskaiden ajoneuvojen osalta vähäpäästöisiksi ajoneuvoiksi on määritelty vaihtoehtoisia polttoaineita käyttävät ajoneuvot, vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönottoa koskevan direktiivin määritelmien mukaisesti. Jos hankinnan kohteena olevissa ajoneuvoissa käytetään nestemäisiä biopolttoaineita taikka synteettisiä tai parafiinisiä polttoaineita, niitä pitää käyttää sellaisinaan (100 %:nen vaihtoehtoinen polttoaine).

Tätä taustaa vastaan voidaan todeta, että BioSata-hanke oli hyvin ajan hermolla, ja tietyllä tavalla valmisteli osallistuneita tahoja tuleviin vaatimuksiin (HSL, kaupungit ja Posti).

Suomen uudistettu biopolttoaineiden jakeluvelvoitelaki edellyttää 30 %:n biopolttoaineosuutta vuonna 2030. Koska mahdollisuus biokomponenttien lisäämiseen bensiiniin on rajoitettu (tasolla 10 %), tullaan bensiinin biovaje täyttämään dieselpuolella. Tällä hetkellä bensiinin osuus kulutuksesta on noin kolmannes, ja dieselin vastaavasti kaksi kolmasosaa. Jos suhteet säilyvät vuoteen 2030, tämä tarkoittaisi, että dieselin bio-osuus olisi tuolloin noin 40 %. Tältäkin osin BioSata-hanke on valmistellut toimijoita tulevaan.